

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

**ZMĚNA GEOMETRICKÉ STRUKTURY  
TKANINY PŘI NAMÁHÁNÍ VE STŘIHU**

**GEOMETRICAL STRUCTURE CHANGE OF  
FABRIC UNDER SHEAR STRESS**

Vypracovala: Bc. Soňa MALÁ  
Vedoucí práce: Ing. Jana DRAŠAROVÁ, Ph.D.

Počet stran textu: 54  
Počet obrázků: 52  
Počet tabulek: 15

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 5. ledna 2009

.....

.

Podpis

## **Poděkování**

Rády bych poděkovala především paní Ing. Janě Drašarové, Ph.D., vedoucí mé diplomové práce, za nesmírnou ochotu, mnoho cenných rad a bezpočet optimistických slov, bez kterých bych tuto práci nikdy nenapsala. Dále také kolektivu zaměstnanců laboratoře na katedře textilních technologií za pomoc a poskytnutí praktických rad.

Zároveň bych ráda poděkovala svým rodičům Soně a Čestmírovi Malých za jejich podporu, díky které jsem mohla vystudovat vysokou školu. Byli mi vždy oporou a morálním vzorem.

Můj veliký dík patří i mému partnerovi za jeho trpělivost, oporu a lásku.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá změnami geometrické struktury tkaniny při namáhání ve střihu. Popisuje základní parametry geometrie tkaniny z bavlněných přízí po již zmíněné deformaci.

V experimentální části této diplomové práce byly použity ke zkoumání makroskopické a mikroskopické metody. Makroskopická metoda sloužila k určování změn úhlů. Tyto změny vyvolalo jednoosé namáhání tkaniny na speciálním přístroji. Pomocí mikroskopické metody byly získány parametry definující vazný bod resp. vaznou vlnu.

## **Klíčová slova**

Bavlněná tkanina v plátnové vazbě, střihová deformace, jednoosé namáhání, vazný bod a vazná vlna.

## **The Abstrakt**

This Diploma work is relating to changes of geometrical structure of fabric under shear stress. There are describing basic geometrical parameters of cotton yarns after already mentioned deformation.

In experiment part of this Diploma work were used for observation macroscopic and microscopic methods. The macroscopic method has been used for determining changes of angles. The cause of these changes has been uniaxial stress of fabric done on special equipment. By the help of microscopic method were obtained parameters which are defining binding point, or let say binding wave.

## **Key words**

Plain weave cotton fabric, shear deformation, uniaxial stress, binding point and binding wave.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>REŠERŠNÍ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1. CHARAKTERISTIKA TKANINY .....</b>	<b>11</b>
1.1 VAZBA TKANINY .....	12
1.1.1 Plátnová vazba.....	13
<b>2. ZÁKLADNÍ PARAMETRY TKANINY .....</b>	<b>14</b>
2.1 DOSTAVA NITÍ VE TKANINĚ .....	14
2.2 JEMNOST NITÍ .....	15
2.3 SETKÁNÍ NITÍ VE TKANINĚ .....	15
2.4 ZAPLNĚNÍ .....	15
2.5 PRŮMĚR NITÍ .....	16
2.6 GEOMETRICKÉ PARAMETRY PŘÍČNÉHO ŘEZU TKANINY .....	17
2.6.1 Vazný bod tkaniny.....	17
2.6.2 Geometrické hypotézy .....	19
2.6.3 Vazná vlna.....	20
2.6.4 Úhel provázání.....	21
2.6.4.1 Peircův model .....	21
2.6.4.2 Olofsonův model.....	23
2.6.4.3 Hyperbolický model.....	23
<b>3. MECHANICKÉ VLASTNOSTI TKANINY .....</b>	<b>26</b>
3.1 NAMÁHÁNÍ V TAHU .....	27
3.1.1 Pevnost a tažnost.....	28
3.1.2 Napětí.....	29
3.1.3 Deformace.....	29
3.1.4 Rovinná a prostorová deformace .....	30
3.2 SMYK (STŘIH) .....	31
3.2.1 Průběh změny rozměrů vzorku během stříhové deformace .....	33
<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....</b>	<b>34</b>
<b>4. POUŽITÝ MATERIÁL.....</b>	<b>34</b>
4.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY ZKOUMANÝCH TKANIN .....	34
4.2 JEDNOOSÉ NAMÁHÁNÍ .....	36
4.2.1 Výsledky a diskuze.....	37
4.3 JEDNOOSÉ NAMÁHÁNÍ - SPECIÁLNÍ PŘÍSTROJ (RUČNÍ NAPÍNÁNÍ VZORKŮ).....	41
4.3.1 Výsledky a diskuze.....	41
4.4 ŘEZY .....	44
4.4.1 Obrazová analýza Lucia G .....	45
4.4.2 Řezy tkaniny ve volném stavu.....	46
4.4.3 Řezy tkaniny v napjatém stavu .....	46
4.4.4 Výsledky a diskuze.....	46
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>53</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>55</b>
 <b>PŘÍLOHY</b>	
<b>GEOMETRICKÉ PARAMETRY STRUKTURY TKANIN.....</b>	<b>I</b>
<b>JEDNOOSÉ NAMÁHÁNÍ (DYNAMOMETR) .....</b>	<b>V</b>
<b>JEDNOOSÉ NAMÁHÁNÍ (SPECIÁLNÍ PŘÍSTROJ) .....</b>	<b>VIII</b>

## Seznam použitých symbolů

$\alpha$	poměrná šířka příčného řezu niti [1]
$\beta$	poměrná výška příčného řezu niti [1]
$\varepsilon$	tažnost (deformace do přetrhu) [%]
$\varepsilon_x$	relativní prodloužení ve směru namáhání vzorku [1]
$\varepsilon_y$	relativní prodloužení ve směru kolmém k směru namáhání[1]
$\varepsilon_z$	relativní prodloužení ve směru tloušťky tkaniny[1]
$\varepsilon_l$	relativní stlačení příčného řezu niti [1]
$\varepsilon_2$	relativní rozšíření příčného řezu niti [1]
$\gamma$	úhel vazné vlny niti ve tkanině [°]
$\gamma_o$	úhel vazné vlny v osnově [°]
$\gamma_u$	úhel vazné vlny v útku [°]
$\mu$	zaplnění textilního vláknenného útvaru [1]
$\mu m$	označení pro mikrometr (0,000001 metru)
$\pi$	Ludolfovo číslo
$\rho$	měrná hmotnost vláken [kgm <sup>-3</sup> ]
$\sigma$	napětí do přetrhu [Pa]
$\tau$	smykové napětí [Pa]
$\psi$	poloměr křivosti ve vrcholu provázání [°]
$\omega$	úhel zkosení [°]
$\Delta l$	protažení do přetrhu [m]
$\Delta_x$	změna rozměru ve směru namáhání vzorku [m]
$\Delta_y$	změna rozměru ve směru kolmém k směru namáhání [m]
$\Delta_z$	změna rozměru ve směru tloušťky tkaniny [m]
$a$	šířka příčného řezu nití [m]
$a_H$	hlavní poloosa hyperboly [m]
$A_o$	rozteč osnovních nití [m]
$A_u$	rozteč útkových nití [m]
$A_x$	rozměr vzorku textilie ve směru útku [m]
$A_y$	rozměr vzorku textilie ve směru osnovy [m]
$A_z$	rozteč vzorku textilie ve směru tloušťky tkaniny [m]

$b$	výška příčného řezu nití [m]
$b_H$	vedlejší poloosa hyperboly [m]
$cpn$	celkový počet osnovních nití [1]
$cpu$	celkový počet útkových nití [1]
$d$	průměr nití ve tkanině [m]
$d_o$	průměr osnovní nitě [m]
$d_u$	průměr útkové nitě [m]
$d_s$	substanční průměr nitě [m]
$d_{str}$	střední průměr nití [m]
$Do$	dostava osnovy [ $m^{-1}$ ]
$Du$	dostava útku [ $m^{-1}$ ]
$e_o$	míra zvlnění osnovy [1]
$e_u$	míra zvlnění útku [1]
$F$	tahová síla [N]
$F_0$	předpětí [N]
$Fr$	relativní pevnost [N]
$G$	modul pružnosti ve smyku [Pa]
$h$	součet výšek vazných vln ve tkanině [mm]
$h_o$	výška zvlnění osnovní nitě [m]
$h_u$	výška zvlnění útkové nitě [m]
$l$	délka nitě [m]
$l_0$	počáteční délka vzorku (upínací délka) [m]
$l_T$	tržná délka [m]
$l_u$	konečná délka po natažení [m]
$l^+$	protažení vzorku při ručním napínání [m]
$L_o$	délka osnovní nitě vytažené z tkaniny [m]
$L_{tk}$	délka tkaniny ve směru po osnově [m]
$L_u$	délka útkové nitě vytažené z tkaniny [m]
$L_{vz\ tk}$	délka vzoru tkaniny ve směru po osnově [m]
$m$	hmotnost [kg]
$P$	pevnost (síla do přetrhu) [N]
$s_o$	setkání osnovy [1]
$s_u$	setkání útku [1]
$S$	plocha průřezu niti [ $m^2$ ]

$S_c$	celková plocha řezu útvarem [m <sup>2</sup> ]
$S_{čočka}$	plocha průřezu čočky [m <sup>2</sup> ]
$S_e$	plocha průřezu elipsy [m <sup>2</sup> ]
$S_o$	plocha průřezu oválu [m <sup>2</sup> ]
$\check{S}_{tk}$	šířka tkaniny ve směru po útku [m]
$\check{S}_{vz\ tk}$	šířka vzoru tkaniny ve směru po útku [m]
$T$	délková hmotnost (jemnost) vlákna [tex]
$v_T$	výška těžiště v průřezu niti [m]
$V$	objem vláken [m <sup>3</sup> ]
$V_c$	celkový objem útvaru [m <sup>3</sup> ]
$Z_h$	zhuštění nití [1]
$Z_p$	zploštění [1]



## Úvod

Textilní průmysl má v České republice silnou a dlouhou tradici a i přes nynější problémy a celosvětovou ekonomickou krizi, jistě světlou budoucnost. Základním kamenem této predikce je skutečnost, že šatit se bude lidstvo vždy. S kvalitou a stylem života lidstva jsou pevně svázány požadavky na textil. I v dnešní přetechizované době si chce každý jednatlivec oblékat slušivé a pohodlné oblečení.

Jedním z faktorů, které zajišťují pohodlnost oblečení, potažmo textilií, je tvarová stálost. Tvarová stálost je velice úzce spjata se splývavostí textílie. V určení splývavosti je nezbytně nutné znát vnitřní geometrickou strukturu tkaniny.

Vnitřní geometrickou strukturou tkaniny a jejími změnami se zabývala tato diplomová práce, která se skládá z rešeršní a experimentální části.

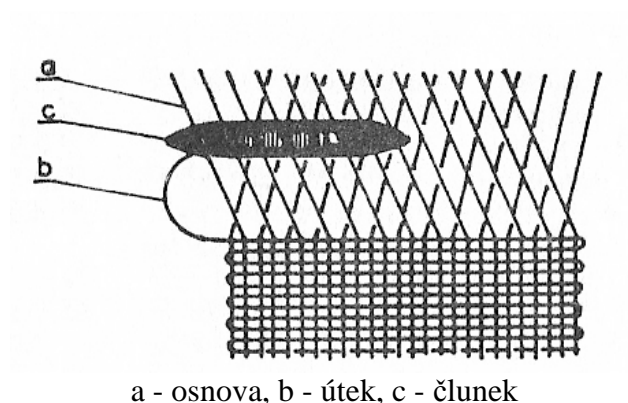
V rešeršní části byla popsána vazba tkaniny, speciálně plátňová vazba, která se týká vzorků určených pro experimentální část. Dále zde byly teoreticky rozebrány definiční parametry tkanin, jako jsou dostava, jemnost, seskání a zaplnění. Dalším bodem byly geometrické parametry příčného řezu tkaniny, zejména pak vazný bod a vazná vlna. Současně byl nastíněn pohled na vaznou vlnu pomocí Peircova, Olofsonova a Hyperbolického modelu. V závěru rešeršní části byly zpracovány mechanické vlastnosti tkaniny. Hlavními body tohoto oddílu byly pevnost a tažnost, napětí, deformace rovinná i prostorová. Speciálním případem prostorové deformace je stříh, který byl detailně popsán v samotném závěru.

Experimentální část této diplomové práce se zabývá popisem použitého materiálu, tzn. popsáním jeho definičních parametrů. Zároveň je zde nastíněna problematika jednoosého namáhání, které bylo prováděno na dynamometru a speciálním přístroji na ručním namáhání vzorků. Hlavním bodem experimentu byly řezy tkaniny. Pomocí zkoumání těchto řezů byly zjištěny parametry vazné vlny (vertikální vzdálenost sousedních vazných bodů) a vazného bodu (šířka, výška, rozteč, relativní zploštění či relativní rozšíření).

# REŠERŠNÍ ČÁST

## 1. Charakteristika tkaniny

Biaksiální tkanina je plošná textilie, která vznikne vzájemným provázáním dvou soustav nití. Podélná soustava nití se nazývá osnova, příčná soustava útek [1]. Schéma tkaniny je na obrázku 1.



Obr. 1 Tkanina [1]

Každé překřížení osnovy a útku se nazývá vazný bod. V případě, že se osnovní nit nachází nad útkovou, jedná se o osnovní vazný bod. V opačné situaci útkový vazný bod.

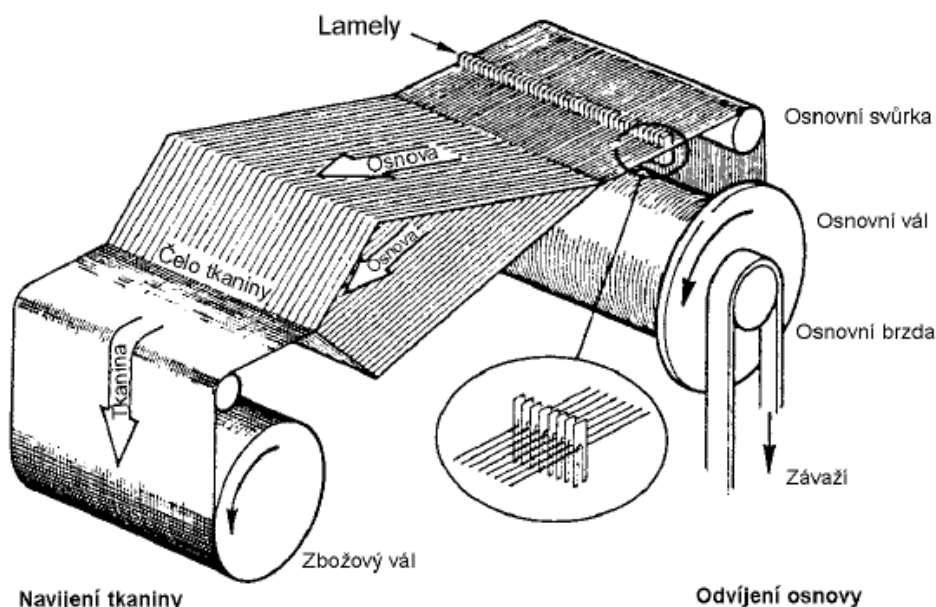
Pro výrobu tkaniny se používají tkací stroje (stavy). Osnova leží ve směru délky tkaniny zatímco útek napříč tkaniny. Osnova je na stroji tvořena velkým počtem paralelně uspořádaných nití, navinutých na osnovním válu a připravena ke tkaní v tzv. zakládání stavu. Osnova se do stavu zakládá navinutá na osnovním vále, z něhož se vede přes svůrku do tkací roviny, kde se tvoří prošlup pro zanesení útku.

Útek se do osnovy vnáší jednotlivými prohozy v příčném směru. Utkaná tkanina se z tkací roviny odvádí přes prsník ke zbožovému válu.

Žádoucí napětí se v osnově uděluje současným působením osnovního popouštěcího ústrojí a zbožového regulátoru. Tato ústrojí pohybují osnovou ve směru délky. Podrobný popis je zobrazen na obrázku 2 [2].

Důležitým parametrem osnovních nití je jejich pevnost, neboť jsou vystaveny velkému namáhání při tvorbě prošlupu.

Tkanina patří mezi nejvýznamnější textilie, jelikož má řadu předností, které dodnes nebyly překonány. Jedná se například o vysokou stabilitu tvaru, nízkou tažnost či vysokou pevnost. Všechny tyto vlastnosti lze ovlivnit použitím odlišných materiálů nebo změnou vazby.



Obr. 2 Tok materiálu tkacím strojem [2]

## 1.1 Vazba tkaniny

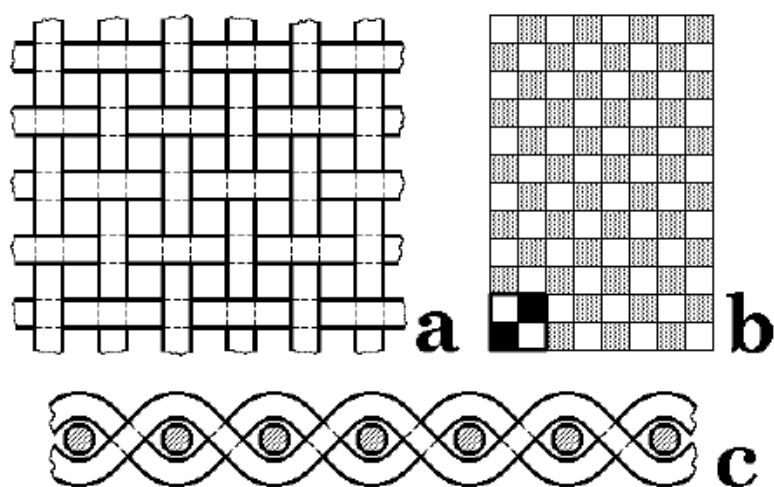
Vazba tkaniny určuje způsob vzájemného provazování osnovních nití s útkovými nitěmi. V tkalcovství je velmi důležitým činitelem. Určuje nejen celistvost plošného výrobku, ale zabezpečuje i tvarovou stálost. Má vliv na pevnost, tuhost, pružnost, poddajnost, hladkost nebo drsnost tkaniny. Vytváří na tkanině různé efekty, které se využívají při vzorování [1].

Vazby tkaniny se dělí na základní, odvozené a smyšlené. Základní vazby tkanin jsou plátňová, keprová a atlasová.

### 1.1.1 Plátnová vazba

Nejjednodušší a nejpoužívanější vazbou je vazba plátnová, která má nejhustší provázání osnovy s útkem a nejlepší využití hmoty nití. Vysoká pevnost tkaniny se získá díky vysokému koeficientu tření mezi osnovou a útkem.

Na obrázku 3 je schéma provázání příčných (útkových) a podélných (osnovních) nití (schéma a). Schéma b znázorňuje symbolický zápis vazby (patrona nebo vzornice; opakování resp. střída vazby je silněji ohraničena) a schématický řez tkaninou, který je zobrazen ve schématu c. Skutečný řez ale vypadá jinak, neboť i nitě kreslené v řezu jsou ve tkanině zprohýbané [3].



Obr. 3 Plátnová vazba [3]

## 2. Základní parametry tkaniny

Rozborem tkaniny se rozumí určení její základní struktury, zjištění a výpočet všech údajů popisujících tkaninu. Zkoumá se druh a účel tkaniny, její líc a rub, směr osnovy a útku, dostava (hustota) a setkání osnovy a útku.

Geometrické parametry tkaniny jsou základním parametrem, který slouží v systémech projektování.

### 2.1 Dostava nití ve tkanině

Dostavou tkaniny, která je též někdy označována jako hustota, se rozumí počet nití na jednotku délky podle ČSN EN 1049-2 (800814). Nejčastěji se počítá na 1 cm, ovšem pro přesnější určení lze pracovat s 10 cm. Dostava se zjišťuje počítáním, a to přímo zrakem nebo tkalcovskou lupou.

Dostava se vyjadřuje zlomkem, kde čítec určuje dostavu osnovy na 1 cm a jmenovatel dostavu útku na 1 cm.

Ze zjištěné dostavy v osnově nebo útku můžeme vypočítat celkový počet osnovných nití ( $cpn$ ), popřípadě celkový počet útků ( $cpu$ ) v tkanině [1].

$$cpn = Do * Štk \quad (1a)$$

$$cpu = Du * Ltk \quad (1b)$$

Při hodnocení struktury tkaniny a vlastního tkacího procesu se zavádí další typ koeficientu souvisejícího s dostavou, vyjádřeného na základě Brierleyho teorie geometrie tkanin. Jedná se o dostavy:

- stoprocentně husté čtvercové dostavy tkanin „ $D_{ct\ max}$ “ v plátnové i neplátnové vazbě,
- skutečné čtvercové dostavy tkanin „ $D_{ct}$ “ v plátnové i neplátnové vazbě [5].

## 2.2 Jemnost nití

Jemnost vyjadřuje vztah mezi hmotností a délkou nití. Běžně se jemnost (délková hmotnost) vyjadřuje v jednotkách tex, nebo jejich násobcích (ktex) a podílech (dtex, mtex) [7].

$$T = \frac{m}{l} \quad (2)$$

## 2.3 Setkání nití ve tkanině

Setkání nití ve tkanině označuje zkrácení osnovy nebo útku ve tkanině po jejich zatčení. Setkání se počítá zvlášť pro osnovu a útek. A to:

$$s_o = \frac{L_o - L_{vztk}}{L_{vztk}} * 10^2, \quad (3a)$$

$$s_u = \frac{L_u - \check{S}_{vztk}}{\check{S}_{vztk}} * 10^2. \quad (3b)$$

Možnosti vyjádření výše uvedeného setkání jsou následující:

- výpočtem délky vazné vlny ve tkanině ( $L_o$ ,  $L_u$ ) na základě teoretických modelů,
- experimentální proměření délky vazné vlny ve tkanině ( $L_o$ ,  $L_u$ ) na základě obrazové analýzy (využití softwaru Lucia),
- experimentální proměření délky jak osnovní, tak útkové nitě vytažené z tkaniny [5],
- označením délky osnovy při tkaní.

## 2.4 Zaplnění

Stěsnání vláken lze vyjádřit pomocí zaplnění  $\mu$ . Zaplnění je veličina vyjadřující podíl z celkového prostoru útvaru, který je vyplněn vlákny. Takto lze definovat zaplnění objemové či plošné

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{S}{S_c}. \quad (4)$$

Zaplnění je bezrozměrná veličina ležící v intervalu  $\langle 0;1 \rangle$ . Pro délkovou textilií může být zaplnění vyjádřeno jako [6]

$$\mu = \frac{d_s^2}{d^2} = \frac{4S}{\pi d^2} = \frac{4T}{\pi d^2 \rho}. \quad (5)$$

Znalost hodnoty zaplnění je zásadní pro vyjádření průměru nití. K predikci zaplnění vedou v současné době dvě možnosti, jednak použití dosud známých empirických materiálových konstant nebo výpočet zaplnění z dosažitelných modelů [6].

## 2.5 Průměr nití

Příčný rozměr nití je velmi důležitou geometrickou charakteristikou. Jednoduše si lze nit představit jako homogenní válec a příčný rozměr označit jako průměr. Jako limitní je definován substanční průměr  $d_s$  (vlákna jsou stlačena do homogenního válce bez vzduchových mezer) výrazem

$$d_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho}}, \quad (6)$$

kde  $S$  je substanční plocha průřezu nití,  $\rho$  měrná hmotnost vláken. Takto vypočtená hodnota je limitní. Nit ve skutečnosti není stejnorodým válcem. Mezi vlákny jsou mezery, hustota stěsnání vláken není rovnoměrná a příze směrem k povrchu přechází spojitě do oblasti chlupatosti. Řez nití nemusí být osově symetrický. Z tohoto důvodu neexistuje jednoznačná definice průměru nití. Většinou se vychází z průměru nejmenšího myšleného válce, v němž je obsažena veškerá hmota nití, nebo alespoň její podstatná část. Proto je nutné používat pojem „průměr“ jen jako modelovou představu, teoreticky daný průměr nebo v kontextu s metodou jeho experimentálního stanovení.

Výraz (6) je často používán pro výpočet průměru nití  $d$  ve tvaru [6]

$$d = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}}. \quad (7)$$

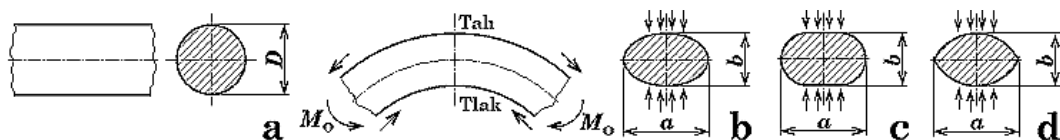
## 2.6 Geometrické parametry příčného řezu tkaniny

V případě modelování působením sil uvnitř tkaniny je zapotřebí znát geometrické parametry vazné buňky tkaniny. Pomocí vazné buňky tkaniny je možné určovat, co je pro danou tkaninu charakterické a popis struktury. Prostředí vazné buňky zahrnuje okolí jednoho vazného bodu.

### 2.6.1 Vazný bod tkaniny

Vazným bodem tkaniny se rozumí kuželosečka, která vznikne při řezu tkaniny v rovině kolmé na řez.

V ideálním případě by měla být na řezu tkaninou vidět kružnice. Kružnice je ideálním případem z důvodu nejmenšího vnitřního napětí. Ovšem tento stav prakticky nikdy nenastane, protože příze je deformovaná díky procesu tkaní. Tyto deformace mohou být dvojího druhu a to tlakové a tahové. Stlačení, rozšíření a zhuštění nití jsou důsledky těchto deformací. Výsledkem těchto deformací je změna vnitřní struktury příze. A proto se teoretická kružnice (a) mění na kuželosečku (b), ovál (c) nebo čočku (d), viz obrázek 4 [3].



Obr. 4 Vliv ohybu příze na deformaci průřezu [3]

Jedním z rozhodujících faktorů určující stupeň deformace je např. druh materiálu, počet vláken v průřezu, stlačení a dostava.

U vazného bodu se zjišťuje mnoho parametrů, jako např. plocha průřezu, jejíž výpočet se liší od tvaru vazného bodu. Pro:

- elipsu

$$S_e = \frac{\pi ab}{4}, \quad (8a)$$



- ovál

$$S_o = \frac{\pi b^2}{4} + b(a - b), \quad (8b)$$

- čočku

$$S_{\text{čočka}} = \sqrt{a^2 + 4/3b^2} \cdot (a^2 + b^2)/4b - a(a^2 - b^2)/4b. \quad (8c)$$

Následují další veličiny:

- poměrná šířka

$$\alpha = \frac{a}{d}, \quad (9)$$

- poměrná výška

$$\beta = \frac{b}{d}, \quad (10)$$

- relativní stlačení

$$\varepsilon_1 = \frac{b - d}{d} = \beta - 1, \quad (11)$$

- relativní rozšíření

$$\varepsilon_2 = \frac{a - d}{d} = \alpha - 1, \quad (12)$$

- zploštění niti

$$Z_p = \frac{b}{a} = \frac{\varepsilon_1 + 1}{\varepsilon_2 + 1}, \quad (13)$$

- zhuštění niti

$$Z_h = \frac{2v_t}{b}. \quad (14)$$

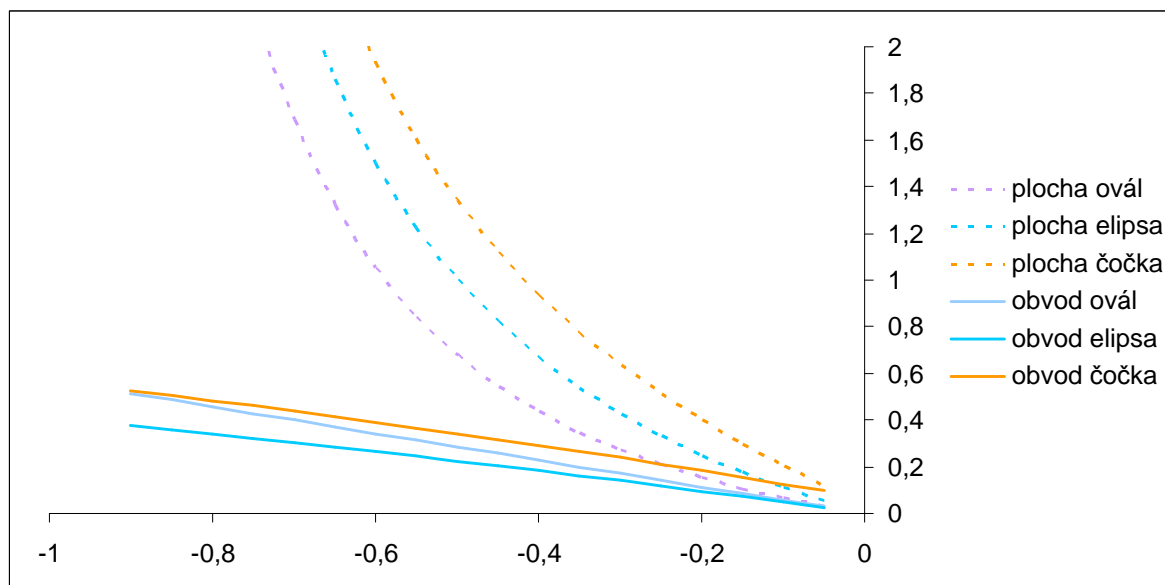
Zploštění  $Z_p$  leží v intervalu  $<0;1>$ . Speciální případ nastane, když  $Z_p = 1$  ( $a = b$ ), tzn. průřez je kruhový.

## 2.6.2 Geometrické hypotézy

Význam relativního stlačení (11) a relativního rozšíření (12) je vysvětlován dle dvou alternativních hypotéz:

- 1) *o zachování plochy*, kdy se předpokládá, že se plocha příčného řezu původní nestlačené příze s deformací nemění.
- 2) *o zachování obvodu*, kdy je předpokládáno, že se obvod příčného řezu původní nestlačené příze s deformací nemění.

Z rovnosti ploch, respektive obvodů kruhové a deformované příze získáme po dosazení závislosti mezi poměrným rozšířením a poměrným stlačením [6, 10]. Získané závislosti jsou pro jednotlivé deformované tvary průřezů znázorněny na obrázku 5.



Obr. 5 Závislost relativního stlačení a relativního rozšíření ve vazném bodě tkaniny [6]

Zhodnocení obou alternativních hypotéz vzhledem ke strukturním závislostem příze vychází z předpokladu, že příčný řez volné příze je kruhový. Kruh je rovinný útvar, který má za shodného obsahu s jinými útvary nejmenší obvod a při shodném obvodu největší plochu.

Jestliže platí první hypotéza o neměnění se ploše příčného řezu, pak musí růst obvod deformovaného řezu, minimálně jen proto, že se původně kruhový řez změnil v jiný prostorový útvar. Také lze předpokládat, že změny v obvodu příčných řezů nejsou zapříčiněny jen změnou průřezu, ale i uvolněním dostředných sil, které jsou vyvozovány přibližně šroubovicovou strukturou uspořádání vláken. Tato hypotéza dále

naznačuje, že se při deformaci příze nemění objem mezivláknenných pórů, tím tedy neroste ani zaplnění. Zaplnění může jen klesat, což by byl v tomto stavu zvláštní a ojedinělý jev, který by vylučoval domněnku o uvolňování dostředných sil.

Jestliže se přijme druhá hypotéza o neměnicím se obvodu příčného řezu příze, pak plocha musí klesat. Odtud plyne, že se musí zvětšovat zaplnění, tj. dochází ke zmenšení mezivláknenných pórů a zvětšení počtu kontaktů mezi vlákny. Tím dojde k destrukci celé původní struktury příze [6, 10].

### 2.6.3 Vazná vlna

Základní výstupní geometrické parametry získané z popisu vazné vlny, ovlivňující jak silové, tak i deformační poměry mezi osnovou a útkem ve vazné buňce, vzniklé ve tkanině během i po vlastním procesu tkaní jsou:

- délka nitě ve vazné vlně ve střídě vazby (v osnově i útku),
- úhel provázání (v osnově i útku) [5].

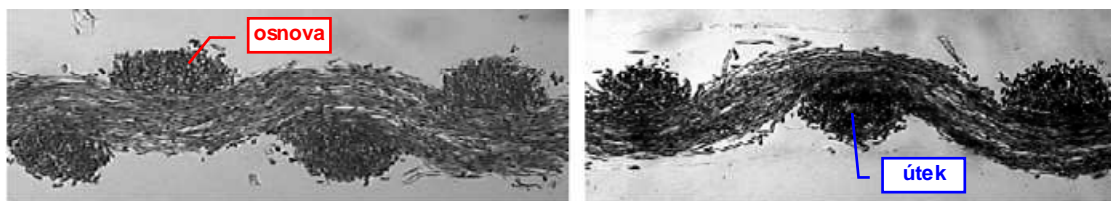
Bylo už vytvořeno mnoho experimentů, kterými by bylo možné zjistit přesné provázání osnovních a útkových nití, v případě plátnové vazby či v jiné než plátnové vazbě. Matematické vyjádření některých modelů, v případě plátnového provázání, ukazuje, že některé znázornění neodpovídají skutečnosti, tzn. je málo přesné. Nevýhodou jiných modelů je, že se nedají stanovit např. pro stanovení sil či deformací.

Za nejpoužívanější modely lze považovat:

- Peircův model,
- Olofsonův model,
- hyperbolický model.

Zkoumat vazné vlny tkaniny umožňují řezy tkanin, které poskytují pohled do nitra plošných textilií. Největším problémem je nebezpečí změny geometrie textilie po provedeném řezu, proto se musí zafixovat. Blíže popsáno v kapitole 4.4 Řezy.

U tkanin je vhodné vést řez v místě osy útkové nebo osnovní nitě, neboť umožní zobrazit vaznou vlnu jedné nitě a současně deformaci průřezu nitě kolmé. Příklady řezů tkaninou jsou uvedeny na obrázku 6.



Obr. 6 Příklady řezů tkaninou

## 2.6.4 Úhel provázání

Základním parametrem ovlivňujícím sklon nitě vzhledem k ose tkaniny je zvlnění. Z tkaniny obecně vynikají vazné body jedné nebo druhé soustavy nití, podle použitého přírazného systému, podle tahové síly v osnově a útku, podle dostavy, materiálu atd.

Velikost úhlu provázání je jedním z hlavních parametrů ovlivňujících jak silové, tak i deformační poměry nití ve tkanině.

Obecně velikost úhlu lze vyjádřit z geometrie [5]:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{dy}{dx} \Rightarrow \gamma = \operatorname{arctg} \frac{dy}{dx} \quad (15)$$

### 2.6.4.1 Peircův model

Toto znázornění patří mezi nejznámější a nejvíce používané modely pro vyjádření provázání nití ve tkanině. Je považován z geometrického hlediska za nejjednodušší pro drtivou většinu tkanin. Ovšem v případě, že je uvažováno geometrické provázání a mechanika, je tento model nepřijatelný.

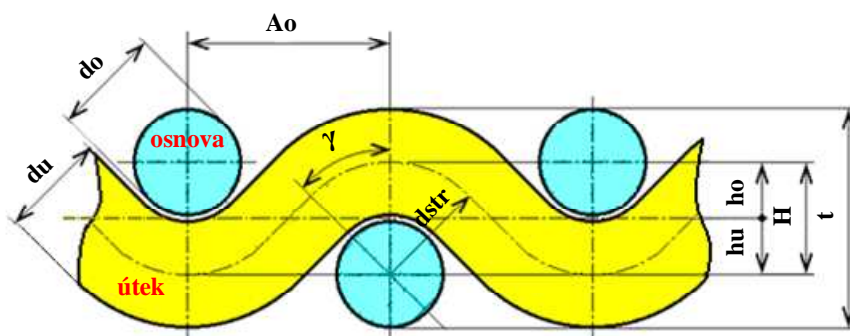
Pro stanovení základních matematických rovnic vychází z následujících předpokladů:

- průměr nitě v řezu ve tkanině je kruhový – neuvažuje v daném modelu zploštění ani jedné soustavy nití ve tkanině,
- vazná vlna osnovy, resp. útku, je nahrazena obloukem kružnice a přímkou (při těsném provázání je přímková – flotážní část rovna nule, vazná vlna v místě křížení v daném případě je čtvrt oblouku kružnice),

- vazná vlna je v jednoduchém provázání – plátně. V případě neplátnových a vyšších odvozených vazeb je úsek neprovazujících nití ve tkanině nahrazen konstantním úsekem ve velikosti flotáže<sup>1</sup>.

Peircův model, viz obrázek 7, bývá obvykle popsán parametricky pro plátnovou vazbu těmito parametry:

- průměry jednotlivých nití v řezu  $d_o$ ,  $d_u$ ,  $d_{str}$
- výška zvlnění  $h$ ,  $h_o$ ,  $h_u$
- úhel zvlnění  $\gamma$ ,
- šířka řezu  $A_o$ ,  $A_u$ ,
- délka nedeformované nitě ve vazném prvku  $l$ .



Obr. 7 Peircův model provázání [dle 3]

$$d_{str} = \frac{d_o + d_u}{2} \quad (16)$$

$$A_o = \frac{1}{D_o} \quad (17a)$$

$$A_u = \frac{1}{D_u} \quad (17b)$$

<sup>1</sup> Flotáž, neboli neprovazující, volně ležící úsek nití ve vazbě tkaniny, je možné definovat pouze u neplátnových vazeb.

Parametr, který udává výšku zvlnění, lze určit:

- a) z příčných a podélných řezů tkaninou, tzn. experimentálně (za pomoci obrazové analýzy),
- b) výpočtem pomocí rovnice (18a), (18b), (18c), pomocí středního průměru nití  $d_{str}$  a míry zvlnění osnovy a útku  $e_o$ ,  $e_u$ .

$$h_o = e_o * d_{str} \quad (18a)$$

$$h_u = e_u * d_{str} \quad (18b)$$

$$h = h_o + h_u \quad (18c)$$

$$e_o + e_u = 1 \quad (19)$$

#### 2.6.4.2 Olofsonův model

Olofsonův model provázání nití zobrazuje oproti Peircova modelu reálnější pohled na strukturu tkaniny. Princip tohoto modelu se zakládá na tom, že tvar zvlnění nití je funkcí vnějších a vnitřních sil, které působí na zatkané nitě a uvnitř nití. Vlna provázání je ve tvaru tzv. elastiky, tj. ohybové čáry vetknutého nosníku zatíženého osamělou výslednicí osových a normálových sil na hranici vazného prvku v plátové vazbě.

#### 2.6.4.3 Hyperbolický model

Hyperbolický model provázání je určen pro vyjádření jednoho zakřížení osnovy s útkem, podobně jako Peircův model, viz obrázek 8.



- nebo poloměr křivosti ve vrcholu provázání pro jednotlivé soustavy nití –  $\psi$ ,  
pro které platí [5]

$$\psi = \frac{a^2}{b}. \quad (22)$$



### 3. Mechanické vlastnosti tkaniny

Mechanické vlastnosti tkaniny se projevují jako odezva na mechanické namáhání příze prostřednictvím vnějších sil. Podle působení vnějších sil lze hovořit o namáhání tkaniny, respektive příze, ze kterých je tkanina vyrobena, na:

- tah,
- smyk,
- tlak,
- ohyb
- krut.

Tyto druhy namáhání se většinou vyskytují v kombinaci. Laboratorně se tato namáhání zkoumají odděleně od sebe, přičemž normovány jsou pouze zkoušky pevnosti v tahu.

Během mechanického namáhání dochází ve tkanině ke změně tvaru – deformaci, která je závislá na:

- velikosti zatížení,
- rychlosti namáhání,
- době trvání.

Deformace může být:

- *tahová*
  - o při jednoosém zatížení
  - o při dvouosém (biaxiálním) zatížení
- *ohybová*
  - o působením ohybového momentu
  - o vzpěr (tlak přechází v ohyb)
- *smyková* (tečné napětí)
- *příčné stlačení*.

Popis deformací na tah a smyk je uveden v následujících kapitolách, ve kterých jsou tyto deformace detailně popsány. Neboť tahová a smyková deformace tkanin jsou předmětem této diplomové práce.

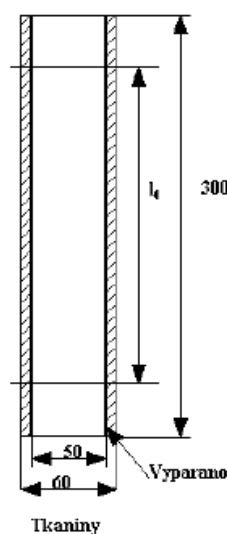
Mechanické vlastnosti jsou popisovány tzv. ultimativními<sup>3</sup> charakteristikami:

- pevnost (síla do přetrhu)  $P$ ,
- napětí do přetrhu  $\sigma$ ,
- protažení do přetrhu  $\Delta l$ ,
- tažnost (deformace do přetrhu)  $\varepsilon$ ,
- relativní pevnost  $Fr$ , resp.  $f$ ,
- tržná délka  $l_T$  - délka, při níž by se textilie upnutá na jednom konci přetrhla vlastní tíhou [3,4].

### 3.1 Namáhání v tahu

Pevností v tahu nazýváme odolnost materiálu vůči tahovému namáhání, měření probíhá dle ČSN EN ISO 13934-1 (800812). Tato vlastnost se zkouší na dynamometru – přístroji pro definované namáhání vzorků a registraci síly a deformace (natažení). Přístroji se také říká trhací stroj nebo zjednodušeně trhačka [4]. Toto je dále řešeno v kapitole 4.2.

Podle normy mají být vzorky vystřiženy z odstříhu plošné textilie tak, aby neměly ani jednu společnou nit. Normovaný je rovněž tvar vzorků, jak je znázorněno na obrázku 9. U tkanin se vzorek vystřihne přesně po niti v rozměrech 300 x 60 mm a vzorek je pak vypárán na šíři 50 mm. Upínací vzdálenost  $l_0 = 200$  mm [8].



Obr. 9 Tvar vzorků pro zkoušení pevnosti tkanin [8]

<sup>3</sup> Ultimativní – mezní, okrajový

Princip měření na dynamometru spočívá v deformaci textilie pomocí čelistí trhacího stroje a následného měření síly měřícím členem spojeným s jednou čelistí.

Pomocí grafů je možné znázornit závislosti pevnosti a tažnosti, která se nazývají tahová či pracovní křivka. Tento název je odvozen od práce, která je vynaložená na napětí ve vzorku.

### 3.1.1 Pevnost a tažnost

Pevností se rozumí síla, která je potřebná k porušení textilie. Při namáhání ve směru osnovy či útku je pevnost závislá především na pevnosti nití a jejich dostavě.

Hlavní důvody, které způsobují neúplné využití pevnosti nití ve tkanině, jsou:

- a) Nestejnoměrnost nitě. Pevností nitě  $F$  je myšlena pevnost průměrná, ve tkanině se ale může přetrhnout nejslabší místo – princip nejslabšího článku. Velký vliv na pevnost tkaniny má i tažnost nití a její nestejnoměrnost. Budou-li některé nitě méně tažné, dojde k jejich destrukci dříve.
- b) Způsob namáhání nitě. Při trhání plošné textilie je jiný, nežli při zjišťování pevnosti nitě.
- c) Nestejnoměrnost struktury tkaniny. Nitě s menším součinitelem provázanosti, tj. s menším setkáním, jsou relativně více protaženy a mohou se dříve přetrhnout. Nestejnoměrnost tkaniny může rovněž vést k nestejnoměrnému namáhání.
- d) Lokální koncentrace napětí při experimentu, která se vyskytuje především v místě upnutí [3].

Při modelovém stanovení tažnosti tkaniny ve směru osnovy nebo útku se předpokládá, že délka nedeformované nitě osnovy nebo útku ve vazném prvku je  $l$ , rozteč nití  $A$  a dále, že se nit může protáhnout o hodnotu  $\varepsilon$  (tažnost).

Reálná tkanina s nitěmi, jejichž pevnost, tažnost, průměr apod. kolísá, bude mít tažnost při přetržení menší než ideální model, neboť se díky nestejnoměrnostem začne trhat dříve, nežli se všechny nitě prodlouží až na mez své tažnosti [3].

Tažnost tkanin je závislá na směru, ve kterém dochází k namáhání. Např. tažnost dvouosé tkaniny ve směru osnovy nebo útku bývá podstatně menší, nežli tažnost diagonální, při které dochází ke zkosení tkaniny (je namáhána i smykovým napětím, které změní úhel mezi osnovními a útkovými nitěmi) [3].

### 3.1.2 Napětí

Pod pojmem napětí se rozumí absolutní síla přepočítaná buď na plochu průřezu vlákna  $S$  nebo na jemnost vlákna  $T$ . Přepočet absolutní síly na napětí se provádí z důvodu porovnávání různých materiálů mezi sebou. Přepočet na plochu je obvyklý u homogenních<sup>4</sup> materiálů (např. kovů), z nichž je možno vyrobit vzorek s přesně definovanou plochou průřezu.

Napětí do přetrhu vzorku je nazýváno pevností v tahu.

Napětí je vyjadřováno podle vztahu [4]

$$\sigma = \frac{F}{S}. \quad (23)$$

### 3.1.3 Deformace

Při natahování vzorku tkaniny dochází k jeho prodloužení čili deformaci.

Absolutní deformace, nebo-li protažení do přetrhu, se vyjadřuje v metrech a značí se jako  $\Delta l$ .

Má-li být deformace různých materiálu srovnána, je ji nutno podobně jako u napětí přepočítat na relativní jednotky v procentech. Pro přepočet se používají následující vztahy:

- *absolutní deformace*

$$\Delta l = l_u - l_o, \quad (24)$$

- *relativní deformace*

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o} = \frac{l_u - l_o}{l_o}, \quad (25)$$

---

<sup>4</sup> Homogenní - stejnorodý

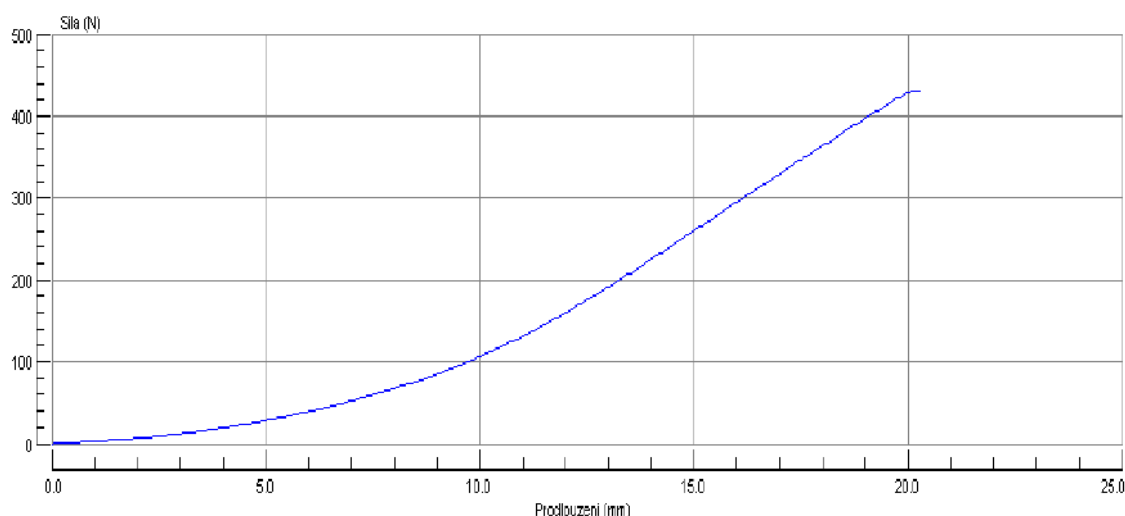
popř.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} * 10^2. \quad (26)$$

Relativní deformaci v okamžiku přetrhu lze též nazývat tažností [%].

Při zkoušení mechanických vlastností jde většinou o zjištění meze pevnosti. Tkanina je v těchto zkouškách zatěžována až do destrukce – přetrhu vzorku. Výsledkem jsou ukazatele ultimativních pevnostních charakteristik, viz kapitola 3 Mechanické vlastnosti tkaniny. Aby se vyrovnalo např. navlnění tkaniny, zatěžuje se před vlastní zkouškou základní malou silou  $F_0$ , nazývanou předpětí.

Grafické znázornění průběhu závislosti síly [N] na deformaci [mm], tj. funkce  $F = f(\Delta l)$ , je znázorněna na obrázku 10. Tahová křivka tkaniny se obecně dělí na tři části, které kontinuálně přecházejí jedna v druhou. První část je výsledkem vnitřních třecích sil, druhá je způsobena nárůstkem prodloužení a teprve ve třetí části se projevuje vlastní pevnost nití.



Obr. 10 Tahová křivka tkaniny [Kanalosová, laboratoř KTT]

### 3.1.4 Rovinná a prostorová deformace

Vlivem sil může nastat rovinná nebo prostorová deformace plošné textilie. I v případě jednoosého tahového zatížení může dojít ke změně rozměrů zkoušeného vzorku textilie o rozměrech  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ , kdy může dojít ke změně všech rozměrů (šířka, výška, tloušťka – vzorku, vazného bodu).

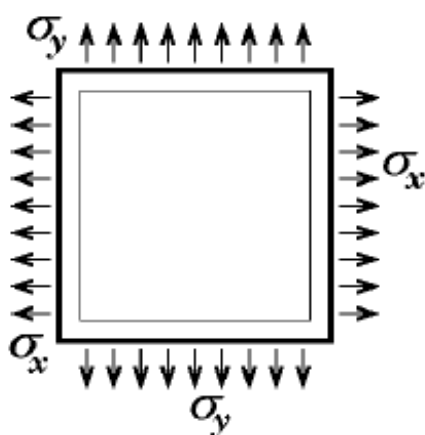
Pokud se např. rozměr  $A_x$  prodlouží působícím napětím o  $\Delta_x$ , kolmý rozměr se zpravidla zkrátí o  $\Delta_x$ . Relativní změnu rozměrů lze definovat [3]:

$$\varepsilon_x = \frac{A_x + \Delta_x}{A_x}, \quad (27a)$$

$$\varepsilon_y = \frac{A_y + \Delta_y}{A_y}, \quad (27b)$$

$$\varepsilon_z = \frac{A_z + \Delta_z}{A_z}. \quad (27c)$$

Biaxiálně deformovaná textilie je na obrázku 11. Oděvní i technické textilie jsou zatěžovány ve dvou směrech poměrně často. Zatížení v obou směrech se navzájem ovlivňuje.



Obr. 11 Biaxiálně deformovaná textilie [3]

Obecně při jednoosém namáhání vzorku normovaných rozměrů bude docházet k prodloužení vzorku ve směru namáhání, zkrácení ve směru kolmém a zvýšení tloušťky tkaniny.

### 3.2 Smyk (střih)

Při namáhání textilií smykem síla vyvolává deformaci. Síla zde působí v rovině plochy a ne kolmo na ni jako při tahu. Odpovídající modul se označuje písmenem  $G$  a nazývá se modul pružnosti ve smyku. Je dán poměrem smykového napětí a smykové

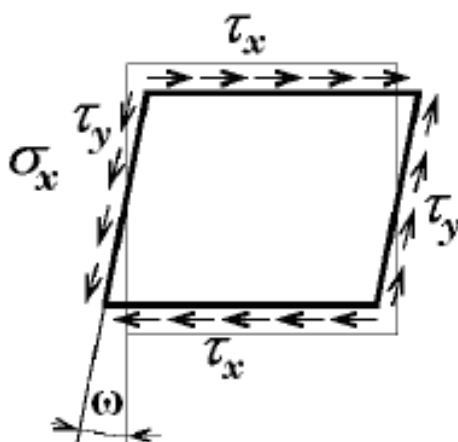
deformace, tzv. zkосу. Hodnota modulu ve smyku textilií je závislá na materiálu, dostavě osnovy a útku a také na provázání přízí ve tkanině [13].

Prostým smykem (stříhem) se rozumí takové namáhání tkaniny, při kterém dochází působením síly ke vzájemnému posouvání osnovy a útku, ačkoli se nemění jejich kolmá vzdálenost [14].

Při působení smykové napětí  $\tau$  (obrázek 12) se textilie deformuje především zkosením (změnou úhlu mezi nitěmi). Zde se může použít varianta Hookova zákona pro smyk

$$\omega = \frac{\tau}{G}. \quad (28)$$

Odpor textilie proti zkosení  $G$  nebude konstantou. Při větší smykovém namáhání dojde ke zvlnění textilie, což už znamená její prostorovou deformaci [3].



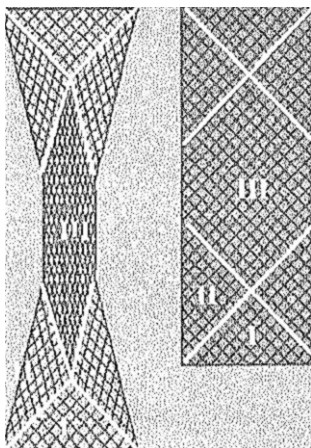
Obr. 12 Textilie při působení smykového napětí [3]

Předpovědi chování textilie ve stříhu se zabývá např. Lomov [11], který se zabývá pouze parametry tkaniny ze skleněných pramenů pro kompozity s textilní výztuží. Stříhovou deformací tkanin v plátňové vazbě (z multifilu) s ohledem na výslednou splývavost zkoumá i Sun a Pan [12], kde se zabývají pouze malými deformacemi, kdy je síla příliš malá na překonání vnitřního tření (k prokluzu nití dojde pouze v případě, že stříhová síla překoná tření mezi nitěmi ve vazném bodě), malé deformace předpokládají vždy elastické, předpovídají zhuštění struktury, vazná vlna je nahrazena oblouky. Ve srovnávacím experimentu získávají geometrické parametry použitím stereomikroskopu.

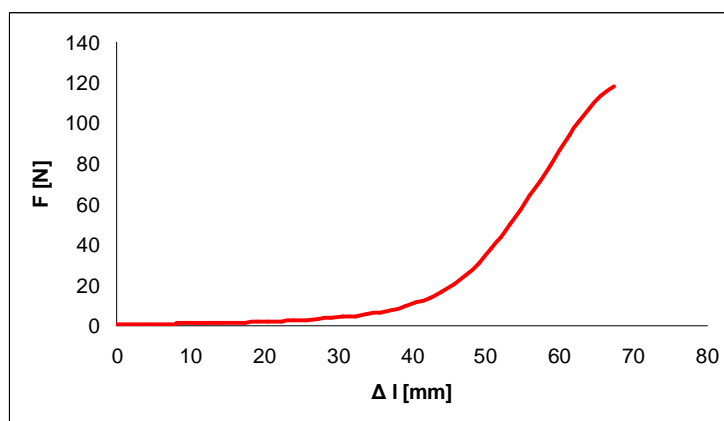
### 3.2.1 Průběh změny rozměrů vzorku během stříhové deformace

Vzorek tkanin se během stříhové deformace mění a je rozdělen do třech částí, viz obrázek 13. Nalevo je vzorek, ve kterém již proběhly stříhové deformace a vpravo vzorek před zatížením. Jak je patrné z obrázku, část I je nejméně deformovaná na rozdíl od části III. Deformace části III je závislá na šířce vzorku. Čím širší vzorek tkaniny je deformován, tím se zóna III méně zužuje.

Na obrázku 14 je graficky znázorněna tahová křivka tkaniny ve stříhu, kdy se vzorek při zatížení nejprve „utáhne“, což v grafu odpovídá úseku s velkým prodloužením a malou silou. Poté dojde k samotnému zatěžování nití, tomu odpovídá velký nárůst síly a relativně malé prodloužení.



Obr. 13 Změna vzorku [9]



Obr. 14 Tahová křivka tkaniny ve stříhu

Bylo rozhodnuto zkoumat průběh deformace tkaniny ve stříhu při velkých deformacích a změnu geometrie tkaniny prozkoumat „zevnitř“ přímo z řezů tkaniny.



# EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

## 4. Použitý materiál

Tato diplomová práce zkoumá sadu tkanin v plátnové vazbě ze 100% bavlny v režném stavu, tzn. neprošla tedy žádnou úpravou. Výrobu této tkaniny zajistil podnik Spolsin s.r.o. Česká Třebová. Vzorčky byly utkány na bezčlunkovém tkalcovském stavu s malými útkovými zanašeči (skřípcový stav).

Dostava osnovy byla pro všechny tři tkaniny stejná, na rozdíl od útku, kde byla dostava pro každou tkaninu jiná. Přehledný popis je uveden v tabulce 1.

Podrobný přehled jednotlivých měření, která jsou součástí experimentu v této diplomové práci:

- 1) Základní parametry zkoumaných tkanin
  - a. Dostava a jemnost osnovy
  - b. Dostava a jemnost útku
- 2) Parametry tkanin při mechanickém namáhání
  - a. Jednoosé namáhání (dynamometr INSTRON). Pomocí tohoto experimentu byly zjištěny ultimativní charakteristiky tkaniny pro vzorky střižené pod úhlem 45°.
  - b. Jednoosé namáhání - speciální přístroj. Bylo prováděno měření změny geometrie tkaniny při namáhání ve stříhu.
  - c. Řezy tkaniny (Mikrotom). Byla zjišťována změna vnitřní geometrie tkaniny.

### 4.1 Základní parametry zkoumaných tkanin

#### DOSTAVA

V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty jmenovité udávané výrobcem (\*) a hodnoty naměřené dle ČSN 1049-2 (800814). Bylo provedeno 10 měření a na základě konstatování normality, nezávislosti a homogenity byl vypočten aritmetický průměr jako odhad střední hodnoty a byly určeny 95% intervaly spolehlivosti pro malé výběry.

**Tab. 1 Dostavy zkoumaných tkanin**

	<b>Jmenovitá dostava*</b> [nití/10 cm]	<b>Naměřená dostava**</b> [nití/10 cm]
<b>Do</b>	180	189,8 <188,8; 190,8>
<b>Du (1. tkanina)</b>	144	153,8 <153,1; 154,5>
<b>Du (2. tkanina)</b>	108	113 <112,4; 113,6>
<b>Du (3. tkanina)</b>	72	75,1 <74,6; 75,6>

Poznámka: \* dle výrobce, \*\* dle ČSN

Lze konstatovat, že naměřené hodnoty dostavy osnovy a útku se od jmenovitých liší. Největší rozdíl je mezi jmenovitou dostavou útku u 1. tkaniny. Naproti tomu u 3. tkaniny je tento rozdíl nejmenší. U všech typů tkanin je jmenovitá dostava nižší než naměřená. Důvodem je relaxace struktury.

Na základě této statistické analýzy bylo rozhodnuto, že pro tuto práci bude používána jmenovitá dostava jako definiční ukazatel všech vzorků.

## JEMNOST

Jemnost přízí použitých v tkaninách nebyla stanovena pomocí gravimetrické metody, dle ČSN EN ISO 1973 (800269). Tento způsob měření spočívá v přesném odměření délky příze nebo nitě a jejím přesném zvážení. K tomuto experimentu nebyla k dispozici volná příze, byly měřeny nitě vypárané nití z tkaniny. U těchto nití mohlo dojít k chybě měření délky nitě.

Pro dosažení maximální přesnosti bylo toto měření a vážení provedeno vždy pro 10 přízí jednotlivých tkanin.

Délková hmotnost (jemnost) je následně stanovena pomocí vztahu (2).

Přehled naměřených jemností je uveden v tabulce 2.

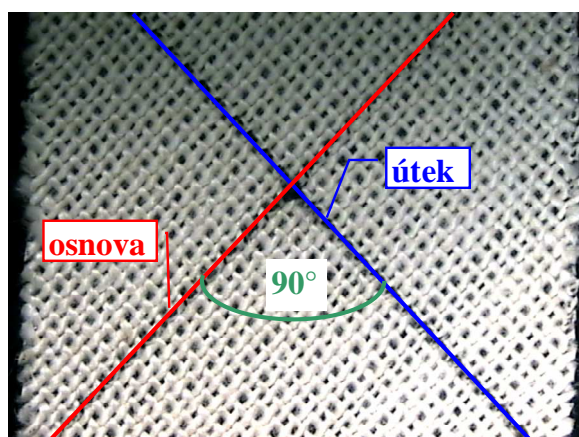
Tab. 2 Jemnosti vzorků

	Jmenovitá jemnost [tex]	Naměřená jemnost [tex]
<b>To</b>	45	46,8 <45,6; 48>
<b>Tu (1. tkanina)</b>	45	40,7 <39,1; 42,3>
<b>Tu (2. tkanina)</b>	45	42,5 <40,8; 44,2>
<b>Tu (3. tkanina)</b>	45	46,7 <45,3; 48,1>

Pomocí tohoto experimentu bylo zjištěno, že jmenovitá jemnost se od naměřené jemnosti liší. Tento rozdíl lze např. připsat nepřesnému odměření délky vypárané nitě. Vážení nití probíhalo v laboratoři na kalibrované digitální váze, kde lze předpokládat velmi vysokou přesnost.

## 4.2 Jednoosé namáhání

První experiment byl prováděn na přístroji dynamometr INSTRON 4411, při upínací délce 15 cm, rychlost přičnku byla 100 mm/min. Pomocí tohoto experimentu byly zjištěny ultimativní charakteristiky tkaniny pro vzorky střížené pod úhlem 45° (vzorky byly nastříhány tak, aby osnova a útek ve vzorku svíraly se směrem zatěžování úhel 45°, jak je patrné z obrázku 15). Rozměry vzorků byly jednak 2,5 x 20 cm a také 5 x 20 cm pro každou dostavu. Vzorky byly stříhány z tkaniny o celkových rozměrech 140 cm x 200 cm, tak aby jimi neprocházely stejné příze.



Obr. 15 Popis vzorku

Tento experiment byl prováděn při teplotě 25,3°C a relativní vlhkosti 42 %. Tahové zkoušky byly prováděny dle ČSN EN ISO 13934-1 (800812). Princip zkoušky spočívá v upnutí tkaniny do speciálních čelistí pro tkaniny a její následné zatížení plynulou silou až do jejího přetržení. V okamžiku přetržení je možné zjistit maximální protažení a maximální sílu potřebnou k přetržení.



Obr. 16 Instron 4411

#### 4.2.1 Výsledky a diskuze

Pro každou ze tří tkanin bylo zkoumáno 10 vzorků o rozměru 2,5 x 20 cm a 10 vzorků o rozměru 5 x 20 cm.

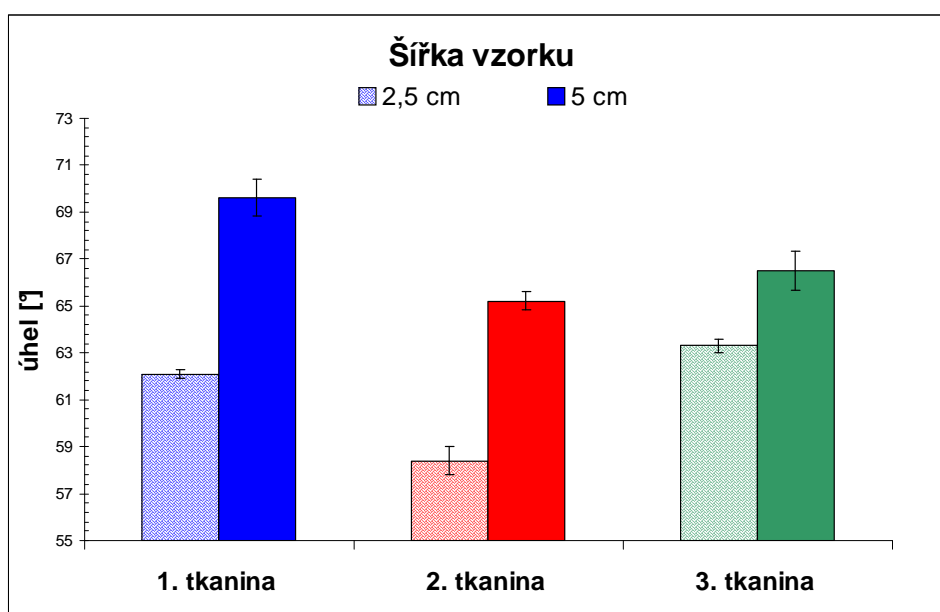
#### ÚHEL MEZI OSNOVOU A ÚTKEM

Vždy před samotným experimentem byl na vzorek vyznačen úhel mezi osnovou a útkem. Jehož změřená hodnota byla  $90^\circ \pm 2^\circ$ . Následně po přetrhu byl úhel znovu přeměřen. Přehled změn úhlů viz tabulka 3. Síla potřebná k přetrhu je uvedena v příloze 2, tabulka 3.

Tab. 3 Změny úhlů po přetrhu

	Šířka vzorku [cm]	Úhel [°]
1. tkanina	2,5	62,1 <61,9; 62,3>
	5	69,6 <68,8; 70,4>
2. tkanina	2,5	58,4 <57,8; 59>
	5	65,2 <64,8; 65,6>
3. tkanina	2,5	63,3 <63; 63,6>
	5	66,5 <65,7; 67,3>

Na základě konstatování normality, nezávislosti, homogenity byl vypočten aritmetický průměr jako odhad střední hodnoty a byly určeny 95% intervaly spolehlivosti pro malé výběry.



Obr. 17 Změny úhlů provázání pro různé šířky vzorků

## DISKUZE

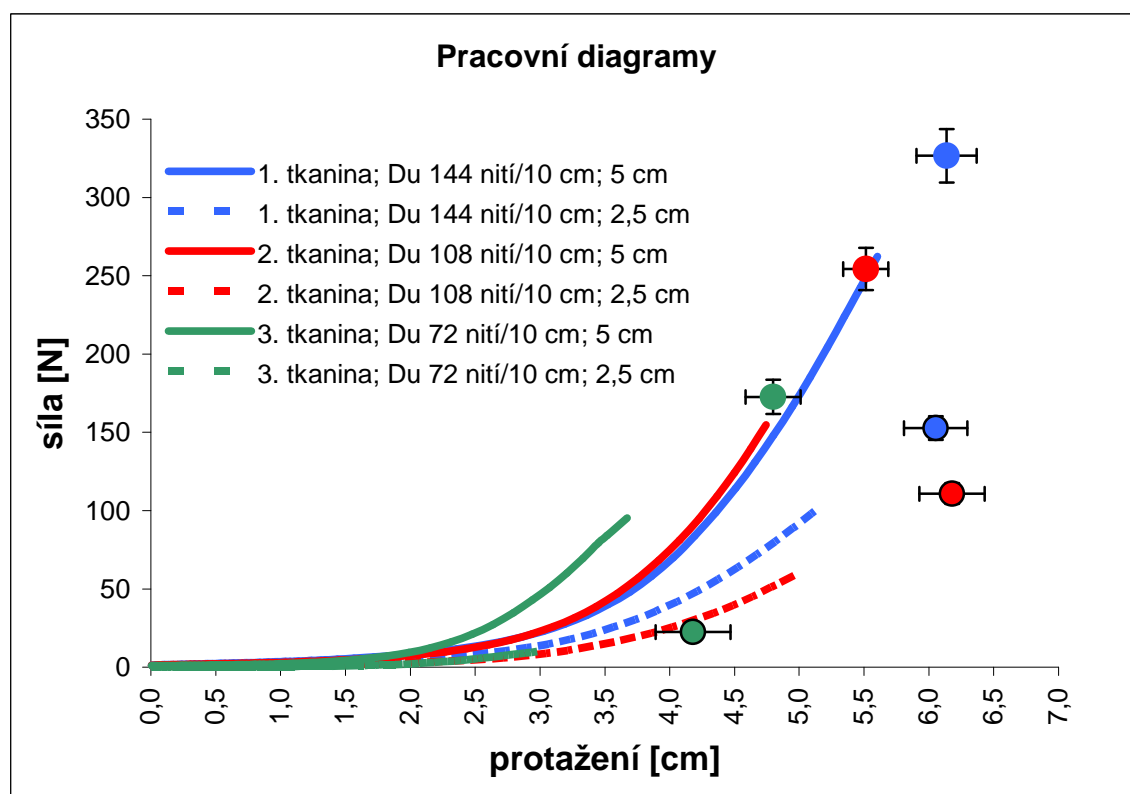
Je nutno připomenout, že se jedná o úhly mezi osnovou a útkem naměřené v okamžiku přetrhu. Během tohoto experimentu bylo zjištěno, že se vzorky tkaniny 1 a 2 při obou šířkách vzorků trhaly u čelistí, oproti tomu při dostavě útku 72 nití/10 cm (3. tkanina, „nejřidší“ dostava) se vzorky plynule rozvolnily, pro tuto tkaninu bylo obtížné zaznamenat přesnou hodnotu přetrhu i úhlu (označeno elipsou). Proto není možno porovnávat tyto hodnoty pro všechny typy dostav útku tkaniny. Pouze rozdíl

mezi hodnotami pro tkaniny 1 a 2 ukazuje trend – s rostoucí dostavou útku dochází k menšímu vzájemnému posunu nití osnovy a útku (roste úhel mezi osnovou a útkem v okamžiku přetrhu), viz obrázek 17.

Výsledné hodnoty se pro jednotlivé tkaniny také lišily v závislosti na šířce vzorku. S klesající šířkou vzorku klesá měřený úhel (pro všechny vzorky). U širšího vzorku je hodnota úhlu mezi osnovou a útkem vyšší, tj. došlo k menšímu posunu nití ve vazných bodech. Důvodem je větší počet vazných bodů v širším vzorku.

## PRACOVNÍ DIAGRAMY

Okamžik přetrhu byl určen z grafů zaznamenaných trhačkou. Přehled průměrných okamžiků přetrhů pro jednotlivé tkaniny je zaznamenan v grafu na obrázku 18.



Obr. 18 Okamžik přetrhu u jednotlivých tkanin

## DISKUZE

V grafu na obrázku 18 jsou zaznamenány průběhy „průměrných“ pracovních křivek pro jednotlivé vzorky. Hodnoty byly získány výpočtem z pracovních křivek jednotlivých měření. Tento graf slouží pouze k orientačnímu porovnání chování různých struktur. Lze konstatovat následující trendy:

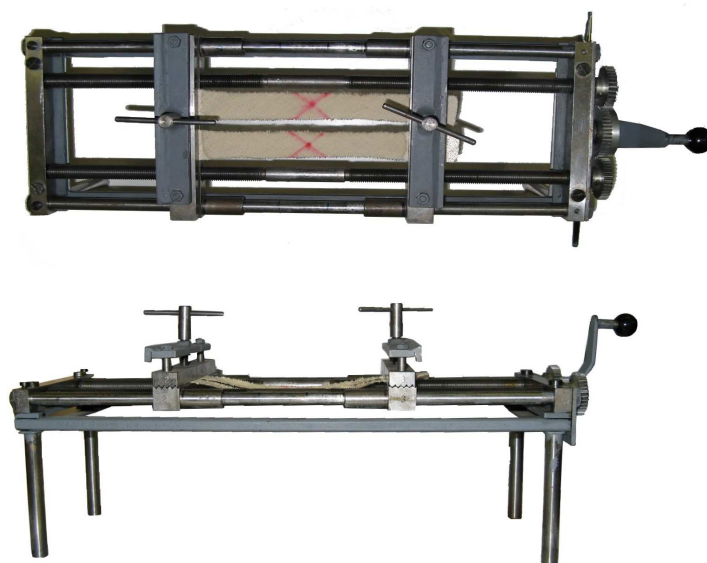
- Pro všechny tkaniny i šířky vzorků je charakteristická velká deformace, která souvisí s nastřížením vzorků pod úhlem.
- Je patrný odlišný trend u vzorků šíře 5 cm (plná čára) a 2,5 cm (čerchovaná čára). U vzorků šíře 5 cm (plná čára) se pracovní křivka zvedá dříve u tkaniny s nejnižší dostavou útku, u vzorků šíře 2,5 cm je tomu opačně. Lze předpokládat, že důvodem je počet vazných bodů v ploše tkaniny, kdy šířka 2,5 cm vzorku již umožňuje i prokluzu přízí ve vazných bodech.
- U vzorků šíře 5 cm (plná čára) navíc docházelo s rostoucí úrovní zatěžování k růstu prostorové deformace (vlnění vzorku), která ztěžovala diagnostiku změny úhlu mezi osnovními a útkovými nitěmi, proto bylo rozhodnuto pokračovat v dalších experimentech se vzorky šíře 2,5 cm. Tento typ vzorku vyhovuje zkoumání deformací při malých zatíženích.

Dále jsou v grafu vyznačeny body ultimativních charakteristik (pevnost, tažnost) s 95% intervaly spolehlivosti. Z toho lze vyvodit:

- Vzorky se trhaly v čelistech, proto nelze dělat závěry pro ultimativní hodnoty (pevnost, tažnost). U **tkaniny 3** (nejnižší dostava útku) docházelo dokonce k úplnému rozvolnění struktury. Tyto jevy souvisí s tím, že se zkoumá chování tkaniny při namáhání, které působí mimo směr osnovních a útkových nití.
- U vzorků šíře 5 cm (plná čára) s rostoucí dostavou útku roste pevnost i tažnost vzorku (více vazných bodů v ploše – větší vnitřní tření v textilií – větší výdrž tkaniny), u vzorků šíře 2,5 cm (čerchovaná čára) se u **tkaniny 1** a **tkaniny 2** tažnost statisticky významně neliší, ale pevnost ano. U vzorků **tkaniny 3** (nejnižší dostava útku) docházelo k úplnému rozvolnění struktury tkaniny uprostřed tkaniny.

### **4.3 Jednoosé namáhání - speciální přístroj (ruční napínání vzorků)**

Dalším krokem experimentu byla snaha o změření změny úhlu provázání osnovy a útku při postupném zatěžování. Na základě výsledků z kapitoly 4.2.1 byly pro tento experiment zvoleny vzorky šířky 2,5 cm a upínací délky 15 cm. Při napínání na dynamometru by bylo obtížné provádět přesnější měření geometrických parametrů, protože napínání probíhá ve svislé rovině. Proto byl zvolen speciální přístroj pro ruční napínání vzorků (obr. 19). Otáčením šroubu dochází k oddalování čelistí (lze nastavovat úroveň protažení, ale nelze měřit velikost síly; závislost síly a protažení bylo zkoumáno v kapitole 4.2). Daná tkanina byla stříhána tak, aby osnova s útkem ve vzorku svíraly se směrem namáhání úhel  $45^\circ$ , jak je patrné z obrázku 19. Přístroj je mobilní, byl umístěn pod makroskop, a pro každou úroveň deformace (po 1 cm) byl snímán obraz pomocí obrazové analýzy (více v kapitole 4.4.1). Následně byl pomocí programu změřen úhel.



Obr. 19 Zařízení pro ruční napínání

#### **4.3.1 Výsledky a diskuze**

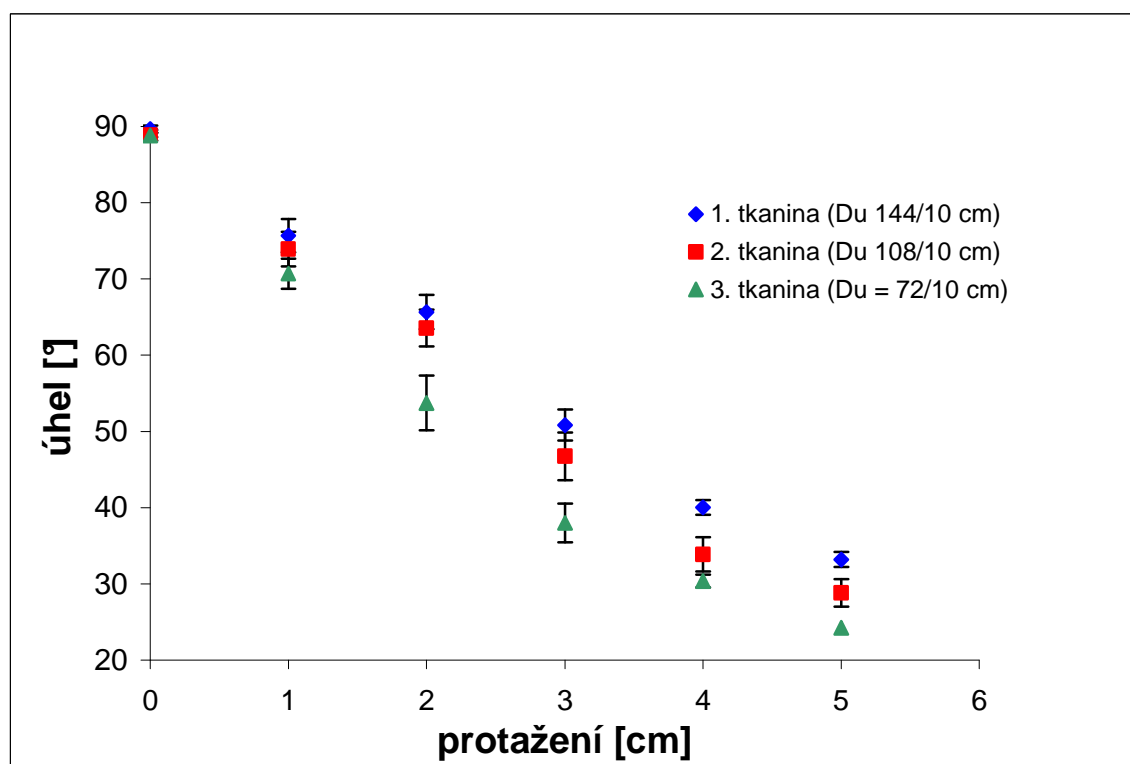
Měření bylo opakováno 10x pro každý typ tkaniny a bylo provedeno statistické vyhodnocení. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4 a znázorněny v grafu na obrázku 20.



Tab. 4 Změny úhlů mezi osnovou a útkem

Protažení [cm]	Úhel mezi osnovou a útkem [°]		
	1. tkanina ( $D_u$ 144/10 cm)	2. tkanina ( $D_u$ 108/10 cm)	3. tkanina ( $D_u = 72/10$ cm)
0 cm	89,66 <89,21; 90,11>	88,89 <88,6; 89,18>	88,89 <88,22; 89,55>
1 cm	75,70 <73,53; 77,87>	73,94 <71,68; 76,2>	70,69 <68,69; 72,69>
2 cm	65,65 <63,4; 67,9>	63,55 <61,15; 65,95>	53,74 <50,16; 57,32>
3 cm	50,85 <48,8; 52,9>	46,75 <43,63; 49,87>	37,99 <35,44; 40,54>
4 cm	40,05 <39,52; 41,03>	33,86 <31,63; 36,09>	30,37 <sup>***</sup> <29,54; 31,2>
5 cm	33,18 <sup>*</sup> <32,2; 34,16>	28,81 <sup>**</sup> <27; 30,62>	24,22 <sup>****</sup>

Poznámka: \* 6 vzorků, \*\* 9 vzorků, \*\*\* 8 vzorků, \*\*\*\* 1 vzorek (počet vzorků klesá, protože v některých případech docházelo k úplnému rozvolnění struktury vzorku).



Obr. 20 Změny úhlů

Podrobnější popis lineární závislosti je uveden v příloze 3.

## DISKUZE

Graf na obrázku 20 znázorňuje závislost úhlů, které svírají osnova a útek jednotlivých tkanin, na protažení. Hodnoty byly získány měřením po zatížení. Zatížení bylo provedeno na zařízení pro ruční napínání vzorků.

Z tohoto grafu lze vyvodit následující závěry:

- Hodnota označovaná jako 0 cm, je ve skutečnosti hodnotou vnitřního předpětí materiálu, které se limitně blíží nule.
- S rostoucí deformací se úhel snižuje.
- U vzorků **tkaniny 3** ( $D_u$  72 nití/10 cm ▲) došlo při ručním napínání k rozrušení vazby dříve, při nižším protažení, než u ostatních vzorků.
- Při jednotlivých úrovních namáhání dochází v některých případech k překrývání intervalu spolehlivosti. U protažení 0 cm je to u všech typů tkanin, v případě protažení 2 a 3 cm u hustších tkanin. Při protažení o 4 cm se tyto intervaly překrývaly u **tkaniny 2** a **tkaniny 3**.

Pro hlubší rozbor bylo provedeno statistické zhodnocení dat (v programu QC Expert) a bylo konstatováno, že:

- Závislost deformace a změny úhlu lze popsat lineární závislostí pro všechny typy tkanin (charakteristiky lineárních závislostí jsou uvedeny v příloze 2).
- Bylo zkoumáno, zda existuje statisticky významná odlišnost pro každý typ struktury (dostava útku tkaniny). Bylo konstatováno, že závislost mezi stupněm napínání vzorku tkaniny a změnou úhlu je shodná pro tkaniny **1** a **2** a také pro tkaniny **2** a **3**. Oproti tomu nelze hodnotit všechny tkaniny 1, 2 i 3 společně. Toto ukazuje na statisticky významný vliv zvyšující se dostavy útku (rostoucí počet vazných bodů v ploše) na změnu úhlu mezi osnovou a útkem při namáhání ve střihu.

Protože úhel je funkcí dostavy útku a deformací vzorku, byla závislost popsána regresním vztahem nalezeným podle kriteria minimalizace střední kvadratické chyby predikce (MEP) takto:

$$\text{úhel} = P_1 + P_2 * D_u + P_3 * l^+, \quad (29)$$

s hodnotou parametrů  $P_1 = 73 <65; 80>$ ,  $P_2 = 0,13 <0,06; 0,19>$  a  $P_3 = -13 <-14; -11>$  v centimetrech.

**Tab. 5** Statistické charakteristiky regrese

Koeficient determinace $R^2$	0,97
Stř. kvadratická chyba predikce (MEP)	17,90

## 4.4 Řezy

Pomocí příčných řezů je možné získat obraz provázání osnovy a útku. Nejdříve je potřeba přízi ve tkanině zafixovat, tzn. zpevnit celou tkaninu takovým prostředkem, aby v samotném řezání nedošlo ke změnám polohy jednotlivých přízí. Až potom je možné příčně řezat.

Vzorky tkaniny byly impregnovány směsí disperzního lepidla a rychlosmáčivého přípravku Spolion 8 v poměru 1:1. Tato vrstva se nechala 24 hodin uschnout. Dále následovala druhá vrstva, v tomto případě už jen disperzní lepidlo. Po zaschnutí je vrstva průhledná.

Takto připravený vzorek byl nařezán na tenké proužky, asi 4 mm, upevnil se do plechové zalévací vaničky, ve kterých jsou udělány na protějších kratších stranách zářezy. Z vnější strany vaničky se vypnutí nařezaných proužků zajistilo lepící páskou, po celé délce obvodu vaničky. Do takto připravených forem se vlila rozehřátá směs včelího vosku a parafínu v poměru 2:3 a umístila se do mrazáku, cca na 24 hodin.



**Obr. 21** Zalévací vanička

Potom bylo možné voskový blok vyjmout. Nejprve bylo potřeba bloček upravit do tvaru jehlanu a poté provádět samotné řezy. Řezání bylo uskutečněno ocelovými

noži, které se po každém řezu umístily zpátky do ledničky, na mikrotomu. Touto metodou byly získány tenké plátky o jemnosti 35  $\mu\text{m}$ . Nařezané plátky se umístily na mikroskopické podložní sklíčko, zakáply xylenem, který napomáhá k rozpouštění voskové části, a byly vybrány vhodné řezy.



**Obr. 22 Mikrotom**

U této metody mohou nastat určité problémy, jako např. nebezpečí změny geometrie tkaniny po provedeném řezu, které mohou změnit silové poměry v textilií. Právě z toho důvodu se provádí samotné zafixování, které ale nemusí být 100%, protože během tuhnutí zafixovaná textilie může zmenšovat svůj objem. Důležitá je také přesnost řezání na mikrotomu.

#### **4.4.1 Obrazová analýza Lucia G**

Zpracování řezů bylo prováděno pomocí obrazové analýzy Lucie G. Tento software umožňuje vidět binární nebo barevný obraz.

Obrazová analýza byla navržena z důvodu objektivního hodnocení vlastností obrazu. Tento obraz je možné hodnotit jako celek nebo jen vybrané detaily. Základem je digitalizace obrazu a následné zpracování dat v počítači.

Tato analýza je velmi důležitá při stanovení a hodnocení struktury, jak vláken speciálních, tak i textilních materiálů.

Hlavním cílem je získat reprezentativní hodnoty, které jsou typické pro danou strukturu.

#### 4.4.2 Řezy tkaniny ve volném stavu

Tkanina ve volném stavu je označení pro vzorky bez jakéhokoliv vnějšího namáhání. Vzorky pro tento experiment měly rozměr 6 x 6 cm, vždy po třech vzorcích od každé dostavy útku a třech ve směru osnovy. Z každého vzorku bylo vytvořeno 20 bloků, které byly následně nařezány.

#### 4.4.3 Řezy tkaniny v napjatém stavu

Pomocí napínacího mechanismu byly jednotlivé vzorky napnuty ve dvou různých polohách. První poloha byla protažení o 3 cm, druhá poloha protažení o 5 cm. Takto napnuté vzorky byly naimpregnovány, po dvou dnech sejmuty z mechanismu a nařezány. Řezy byly prováděny ve směru osnovy i útku.

Protože napínáním došlo ke změně rozměrů (zúžení) v důsledku napnutí, bylo potřeba použít k upevnění těchto vzorků do zalévací vaničky nit. Tato nit sloužila k lepší manipulaci s řezem vzorku, hlavně při vytváření voskových bloků. Celkem bylo takto zpracováno 15 bloků.

#### 4.4.4 Výsledky a diskuze

Při tomto experimentu byly proměřovány parametry řezů osnovních a útkových nití a to:

- šířka niti  $a$ ,
- výška  $b$ ,
- rozteč  $A$ ,
- vertikální vzdálenost sousedních nití  $\Delta$ .

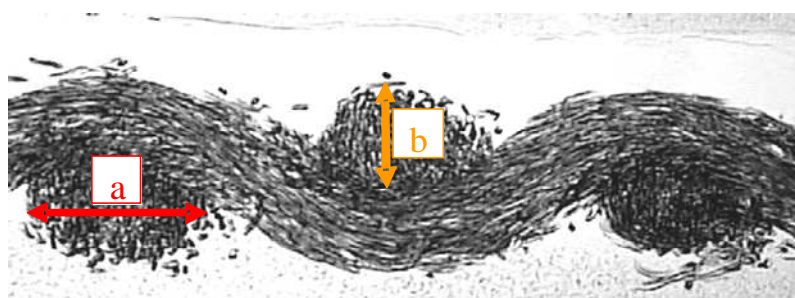
Parametr  $a$  (šířka osnovy a útku) byl naměřen v nejširším místě vazného bodu. Veličina  $b$  (výška osnovy a útku) znázorňuje horizontální rozměr vazného bodu. Rozteč  $A$  je vzdálenost počátků dvou sousedních vazných bodů. Měřením vertikální vzdálenosti sousedních vazných bodů  $\Delta$  bylo možné získat hodnotu relativního stlačení případně relativního rozšíření. Jestliže se tečna v nejnižším místě vazného bodu dostane pod tečnu v nejvyšším místě sousedního vazného bodu, jedná se o stlačení. V opačném případě se jedná o rozšíření.

Do měření těchto parametrů se samozřejmě mohly promítnout nepřesnosti při tvorbě řezů, hmotná nestejnoměrnost nití i nestejnoměrnost tkaniny.

Měření parametry řezů osnovních a útkových nití vazných bodů bylo provedeno pomocí softwaru NisElements. Naměřená data byla následně statisticky vyhodnocena. Podrobný přehled všech naměřených veličin je shrnut v tabulce 1, příloha 1.

### DEFORMACE VAZNÉHO BODU TKANINY

Z naměřených hodnot šířek a výšek osnovy nebo útku, viz obrázek 23, byla vypočtena poměrná šířka (9) a poměrná výška (10) průřezu.



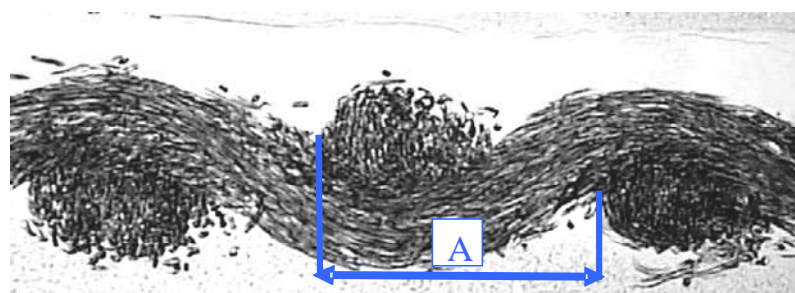
Obr. 23 Naměřená šířka a výška vazných bodů

Průměr byl vypočten pomocí vztahu (7) s použitím limitního zaplnění pro bavlněnou mykanou přízi 0,41 a měrné hmotnosti bavlněných vláken  $1520 \text{ kg/m}^3$  [10].

$$d = \sqrt{\frac{4 * (45 * 10^{-6})}{\pi * 0,41 * 1520}} = \underline{\underline{303 \text{ } [\mu\text{m}]}}$$

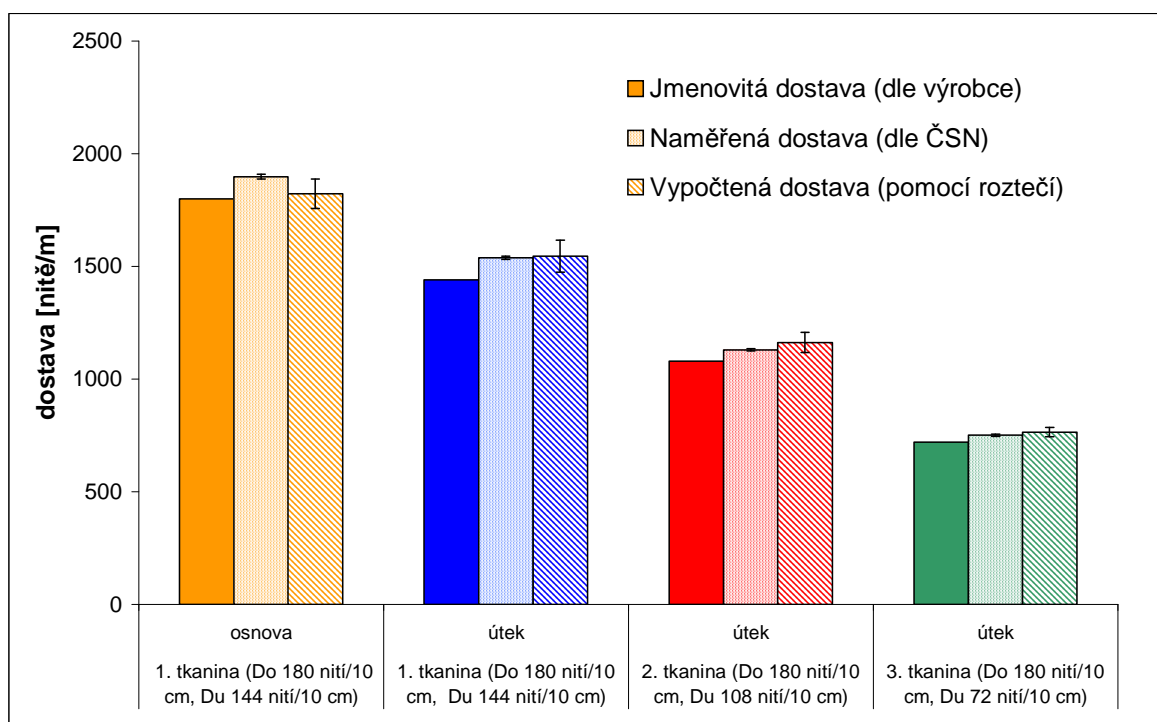
Dále bylo vypočteno zploštění těchto vazných bodů. Pro výpočet byl použit vzoreček (13). Tyto hodnoty jsou uvedeny v příloze 1, tabulka 2.

Pomocí rozteče A vazných bodů bylo možné určit dostavu osnovy a útku pro všechny tři druhy tkaniny.



Obr. 24 Měření rozteče vazných bodů

Tento výpočet byl stanoven ze vzorce (17a) pro stanovení dostavy osnovy a vzorce (17b) pro dostavu útku.



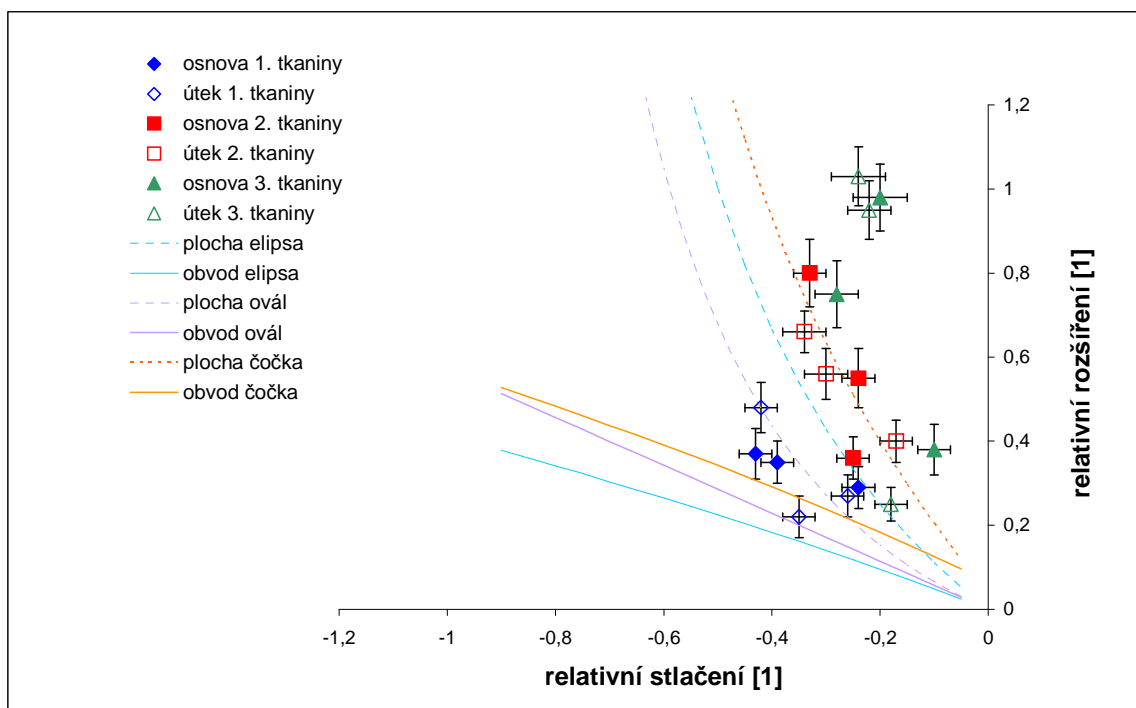
Obr. 25 Srovnání hodnot dostavy

## DISKUZE

Z grafu na obrázku 25 je patrné, že se dostavy statisticky neliší. V případě jmenovité dostavy, která byla uvedena výrobcem, nebyl stanoven interval spolehlivosti. Tato dostava je nejnížší, naopak v případě dostavy vypočtené pomocí roztečí je tato hodnota až na dostavu osnovy nejvyšší.

Porovnáním hodnot dostavy uvedené dle výrobce, naměřené dle ČSN a vypočtené z roztečí bylo zjištěno, že měření bylo prováděno přesně, protože dostavy se statisticky významně neliší.

Relativní stlačení  $\varepsilon_1$  a relativní rozšíření  $\varepsilon_2$ , změřené z obrazů řezu, je zobrazeno v grafu na obrázku 26. Hodnoty pro relativní stlačení byly získány ze vzorce (11) a pro relativní rozšíření ze vzorce (12).



Obr. 26 Závislost relativního rozšíření a relativního stlačení ve vazném bodě tkaniny

## DISKUZE

Ačkoliv výsledky znázorněné v jednom grafu nevykazují opticky jednoznačné tendence, lze konstatovat následující trendy:

- Největší deformace příčného řezu nastává mezi stavem tkaniny bez zatížení (protažení) a prvním zatížením (deformace o 3 cm).
- U **tkaniny 1** (nejhustší dostava útku) se rozšíření statisticky nemění, ale významně se mění stlačení. Nejlépe je tento trend patrný u osnovy ♦ mezi tkaninou bez zatížení a prvním zatížením tkaniny.
- U **tkaniny 2** ( $D_u$  108 nití/10 cm) a **tkaniny 3** ( $D_u$  72 nití/10 cm) se osnova i útek stlačuje statisticky nevýznamně. Zároveň dochází k rozšíření vazných bodů.
- V porovnání jednotlivých řad bodů s křivkami znázorňujícími hypotézy o deformaci příčného řezu niti ve tkanině lze konstatovat, že průběh deformace příčného řezu tkaniny připomíná hypotézu o zachování plochy. Jakoby



při deformaci příčného řezu nití docházelo ke změně tvaru nití, ale nikoliv ke zhuštění vláken.

Protože relativní stlačení a relativní rozšíření ve vazném bodě tkaniny je funkcí dostavy útku, dostavy osnovy a deformací vzorku, byla závislost popsána regresním vztahem nalezeným podle kriteria minimalizace střední kvadratické chyby predikce (MEP) takto:

$$\varepsilon_1 = P_1 + P_2 * D_u * D_o + P_3 * l^+, \quad (30a)$$

s hodnotou parametrů  $P_1 = 0,03 <-0,14; 0,21>$ ,  $P_2 = 0$  a  $P_3 = -0,03 <-0,05; 0>$  v centimetrech,

**Tab. 6 Statistické charakteristiky regrese**

Koeficient determinace $R^2$	0,79
Stř. kvadratická chyba predikce (MEP)	0

$$\varepsilon_2 = P_1 + P_2 * D_u * D_o + P_3 * l^+, \quad (30b)$$

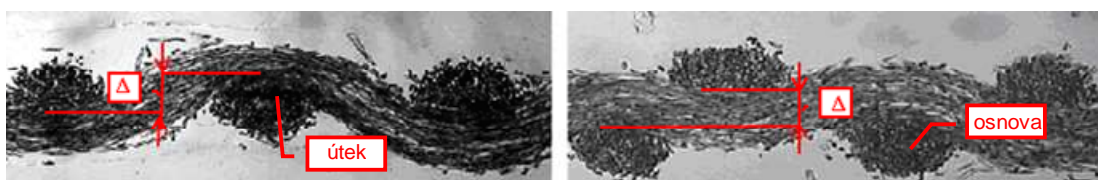
kde je hodnota parametrů  $P_1 = 0,89 <0,51; 1,27>$ ,  $P_2 = 0$  a  $P_3 = 0,07 <0,03; 0,12>$  v centimetrech.

**Tab. 7 Statistické charakteristiky regrese**

Koeficient determinace $R^2$	0,84
Stř. kvadratická chyba predikce (MEP)	0,03

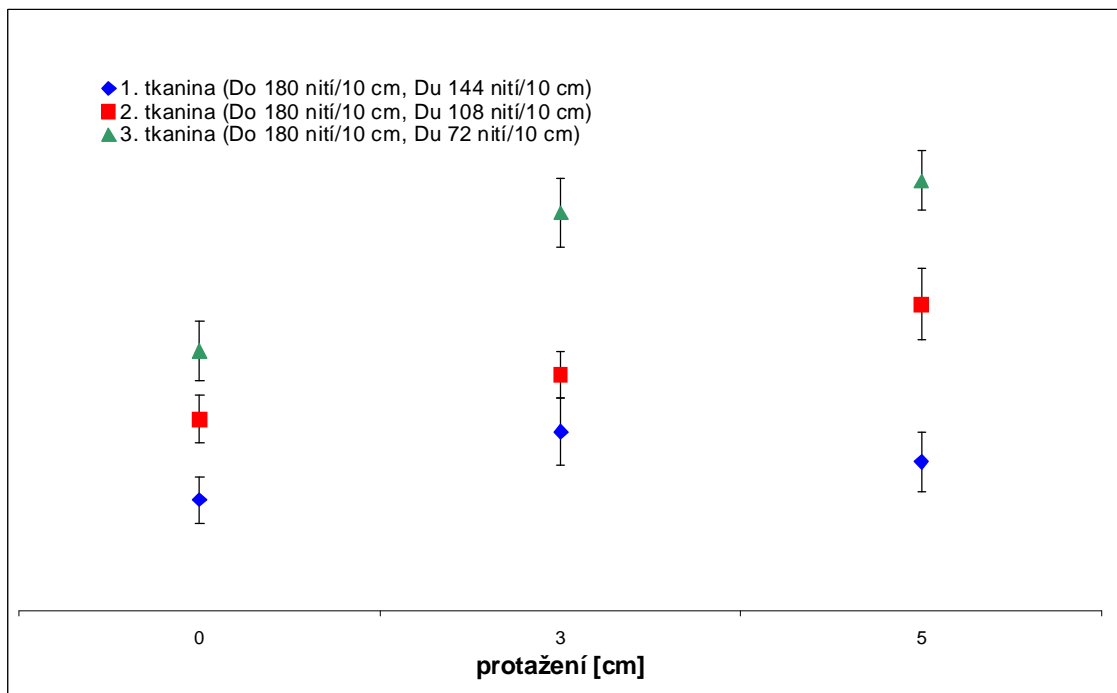
## DEFORMACE VAZNÉ VLNY TKANINY

Při namáhání na střih dochází nejen k deformaci příčného řezu příze ve vazném bodě, ale tyto deformace probíhají vzájemně se změnou tvaru vazné vlny (zvlnění) nití.



**Obr. 27 Vertikální vzdálenost sousedních vazných bodů**

Byla měřena vertikální vzdálenost sousedních vazných bodů. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1 v příloze 1 a znázorněny v grafu na obrázku 28 .



Obr. 28 Vertikální vzdálenost sousedních vazných bodů

## DISKUZE

Měření bylo prováděno z řezů tkaninou tloušťky 35  $\mu\text{m}$ , což je vhodné pro měření parametrů vazného bodu, ale pro měření parametrů vazné vlny se ukázalo ne zcela vhodné. Docházelo (především u preparátů příčných řezů útkovými nitěmi) k ohybu celého preparátu a parametr vertikální vzdálenost sousedních vazných bodů (delta) nebylo možno vždy určit. Z tohoto důvodu byly hodnoceny pouze obrazy příčných řezů osnovou, z čehož vyplývá:

- Již bez zatížení (0 cm na ose x) má každá tkanina jinou geometrii. Parametr „delta“ roste s klesající dostavou útku tj. útek je napjatější, relativní zvlnění útku je nižší.
- S rostoucí deformací během zatěžování při stříhu dochází ke změnám v geometrii vazné vlny u **tkaniny 2** a **tkaniny 3**, útek se narovnáva, osnova se více vlní; tento trend je znatelný především při porovnání výchozích a koncových hodnot experimentu (0 cm a 5 cm).
- **Tkanina 1** s nejhustěji dostaveným útkem nevykazuje žádný statisticky významný trend.

Protože vertikální vzdálenost sousedních vazných bodů je funkcí dostavy útku a deformací vzorku, byla závislost popsána regresním vztahem nalezeným podle kriteria minimalizace střední kvadratické chyby predikce (MEP) takto:

$$\textit{úhel} = P_1 + P_2 * D_u + P_3 * l^+ , \quad (31)$$

kde hodnota parametru  $P_1 = 242,85 <189,79; 295,91>$ ,  $P_2 = -1,41 <-1,89; -0,96>$  a  $P_3 = 10,37 <3,95; 16,79>$  v centimetrech.

**Tab. 8 Statistické charakteristiky regrese**

Koeficient determinace $R^2$	0,93
Stř. kvadratická chyba predikce (MEP)	482,28

## Závěr

Pro modelování některých užitečných vlastností tkanin, jako je například splývavost, je důležité popsat a modelovat mechanismus stříhového namáhání tkaniny ze staplových přízí. Tato práce je příspěvkem k popisu změn vnitřní geometrie tkaniny při tomto typu namáhání.

V úvodní rešeršní části práce je popsána základní geometrie vazného bodu (geometrické hypotézy) a vazné vlny (Peircův, Olofsonův, hyperbolický model). Z hlediska mechanických vlastností tkanin je popsán základní rozdíl jednoosého tahového namáhání vzorku dle ČSN a průběh změny ve vzorku během stříhové deformace, zároveň je definován průběh změn v geometrii vzorku. Jsou citováni autoři, kteří se zabývají modelováním stříhu, ovšem pouze pro multifilové tkaniny během malých deformací. Tito autoři se zabývají změnou v povrchové struktuře tkaniny.

V experimentální části je zkoumána sada tkanin v plátňové vazbě ze 100% bavlny v režném stavu. Dostava osnovy byla pro všechny tři tkaniny stejná, na rozdíl od útku, kde byla dostava pro každou tkaninu jiná. Byly ověřeny základní parametry tkanin a hlavní experiment je zaměřen na zkoumání parametrů tkanin při mechanickém namáhání. Byly provedeny tři typy experimentů.

První typ experimentu byl prováděn na dynamometru. Tímto experimentem byly určeny ultimativní charakteristiky tkaniny pro vzorky střížené pod úhlem  $45^\circ$ . Bylo zjištěno, že se vzorky s nejhustší dostavou trhaly u čelistí oproti nejřidší dostavě útku, kdy se vzorek plynule rozvolnil. Z toho lze vyvodit, že s rostoucí dostavou útku dochází k menšímu vzájemnému posunu nití osnovy a útku. Výsledné hodnoty pro jednotlivé tkaniny byly závislé na šířce vzorku. S klesající šířkou vzorku se zmenšuje i měřený úhel, to je způsobenou menším počtem vazným bodů.

Dalším krokem experimentu byla snaha o změření změny úhlu provázání osnovy a útku při postupném zatěžování. Jelikož bylo toto měření neproveditelné na dynamometru, uskutečnilo se na speciálním přístroji pro ruční napínání vzorků. Výsledkem tohoto měření je skutečnost, že s rostoucí deformací se snižuje úhel. Tento závěr byl získán pomocí statistického hodnocení dat. Zároveň bylo zjištěno, že deformace a změna úhlů jsou lineárně závislé veličiny.

Třetím bodem experimentu bylo zjišťování změny vnitřní geometrie tkaniny. Tato změna byla zjišťována pomocí řezů tkaniny. Tvorba řezů probíhala pomocí napínacího mechanismu, ve kterém byl upnut vzorek, který byl následně naimpregnován. Napínanými vzorky byly tři rozdílně zatížené (0, 3 a 5 cm) pruhy téže tkaniny. Po té byl tento vzorek rozřezán na řezy, které byly provedeny ve směru osnovy i útku. Detekcí těchto řezů byly zjištěny základní parametry vazného bodu (šířka niti, výška niti, rozteč, relativní stlačení/rozšíření) a vazné vlny (vertikální vzdálenost sousedních nití). Zkoumáním těchto parametrů bylo zjištěno, že průběh deformace příčného řezu tkaniny připomíná hypotézu o zachování plochy, tzn. že při deformaci příčného řezu nití docházelo pouze ke změně tvaru a nikoliv ke zhuštění vláken. Jedním z hlavních zjištění je, že již bez zatížení má každá tkanina jinou geometrii. Parametr  $\Delta$  (vertikální vzdálenost sousedních nití) roste s klesající dostavou útku, což znamená, že je napjatější útek a relativní zvlnění útku je nižší.

Byly potvrzeny předpokládané trendy v chování struktury tkaniny plátňové vazby v namáhání ve střihu. Nově byly v experimentální části této práce provedeny měkké řezy, pomocí kterých byly naměřeny parametry popisující změny geometrie vazného bodu a vazné vlny tkaniny během střihového namáhání. Tyto hodnoty byly dále statisticky zpracovávány a na základě výsledků byly stanoveny regresní modely které mohou být použity pro předpověď změn ve struktuře bavlněných tkanin.

## Použitá literatura

- [1] ŠEBOVÁ, Helena - FULMEK, Rudolf. *Textilní technologie II*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00076-9.
- [2] CHRPOVÁ, Eliška. *Technologie tkaní* [online]. c 2006 [cit. 2008-04-23]. URL: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-11-20/09-56-51.pdf>>.
- [3] KOVÁŘ, Radko. *Struktura a vlastnosti plošných textilií*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita. Fakulta textilní, 2003. ISBN 80-7083-676-8.
- [4] KOVAČIČ, Vladimír. *Textilní zkušebnictví: díl I*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita. Fakulta textilní. Katedra textilních materiálů, 2004. ISBN 80-7083-824-8.
- [5] KOLČAVOVÁ, SÍRKOVÁ, Brigita. *Interní norma č. 13-108-01-01: Definice, Geometrické parametry tkanin* [online]. c 2004 [cit. 2008-05-06]. URL: <[http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2013-108-01\\_01.pdf](http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2013-108-01_01.pdf)>.
- [6] DRAŠAROVÁ, Jana. *Analýza příčných řezů tkaniny: disertační práce*. Liberec: Technická univerzita. Fakulta textilní, 2004.
- [7] DOSTÁLOVÁ, Mirka – KŘIVÁNKOVÁ, Mária. *Základy textilní a oděvní výroby*. 2. vyd. Liberec: Technická univerzita. Fakulta textilní. Katedra textilních struktur, 2001, ISBN 80-7083-504-4.
- [8] KOVAČIČ, Vladimír. *Textilní zkušebnictví: díl II*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita. Fakulta textilní. Katedra textilních materiálů, 2004. ISBN 80-7083-825-6.
- [9] DOLATABADI, Mehdi, Kamali. *The internal geometry of plain weave fabric under shear deformation: disertační práce*. Liberec: Technická univerzita. Fakulta textilní, 2007.
- [10] NECKÁŘ, Bohuslav. *Příze – Tvorba, struktura, vlastnosti*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00213-3.
- [11] LOMOV, Stepan, Vladimirovich. *Model of shear of woven fabric and parametric description of shear resistance of glass woven reinforcements* [online]. c 2008 [cit. 2008-12-14]. URL: <[http://www.mtm.kuleuven.be/Research/C2/poly/research/textile\\_modelling/textile\\_deformability.html](http://www.mtm.kuleuven.be/Research/C2/poly/research/textile_modelling/textile_deformability.html)>.
- [12] SUN, Huiyu – PAN, Ning. *Shear deformation analysis for woven fabrics* [online]. c 2005 [cit. 2008-12-15]. URL: <<http://repositories.cdlib.org/postprints/822/>>.

- [13] KOLČAVOVÁ, SÍRKOVÁ, Brigita. *Dílčí projekt: Systém projektování textilních struktur (2. etapa: Tvorba systému projektování „příze – tkanina“)* [online]. c 2004 [cit. 2008-11-20]. URL: <[http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/1Projektovani/1.4\\_manual/%5B1.4.03%5D.pdf](http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/1Projektovani/1.4_manual/%5B1.4.03%5D.pdf)>.
- [14] *Wikipedie* [online]. poslední revize 17.1.2008 [cit. 2007-12-05]. URL: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Smyk\\_\(mechanika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Smyk_(mechanika))>.

# **Příloha 1**

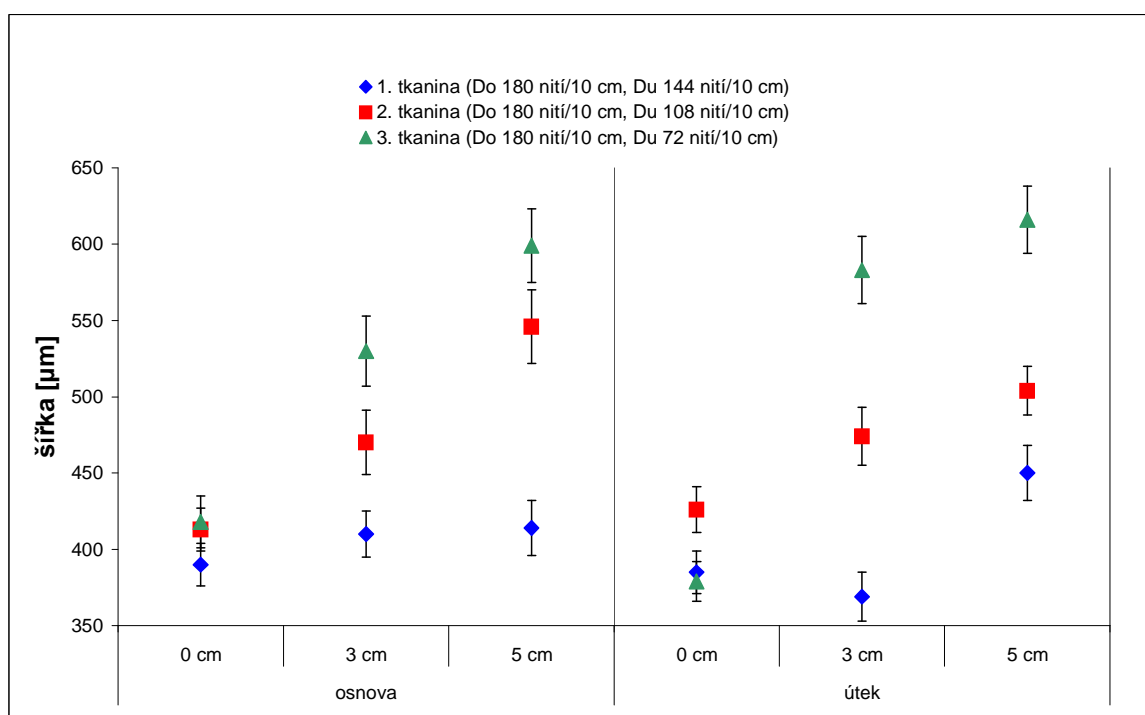
## **Geometrické parametry struktury tkanin**



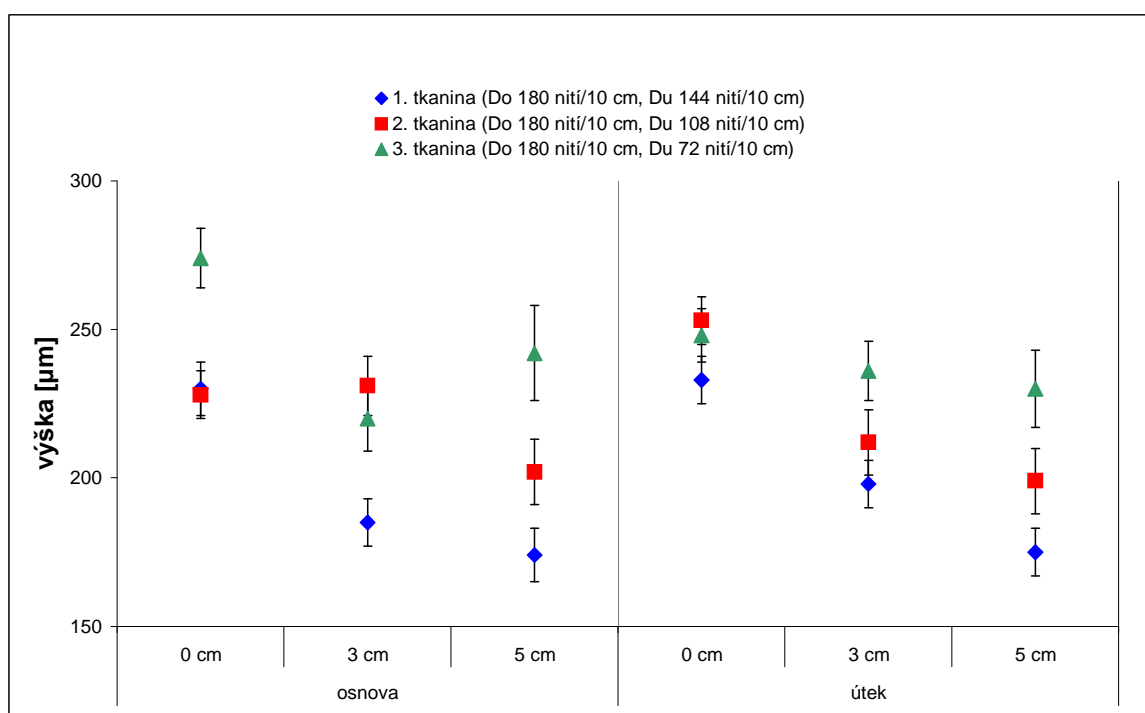
Tabulka 1 Přehled naměřených veličin ( $a$ ,  $b$ ,  $A$ ,  $\Delta$ )

Značení vzorků		Protažení	Šířka $a$ [ $\mu\text{m}$ ]	Výška $b$ [ $\mu\text{m}$ ]	Rozteč $A$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\Delta$ [ $\mu\text{m}$ ]
<b>1. tkanina</b> Do 180 nití/10cm Du 144 nití/10cm	osnova	Základ	390 <376; 404>	230 <221; 239>	561 <530; 592>	52 <41; 63>
		o 3 cm	410 <395; 425>	185 <177; 193>	493 <468; 518>	84 <68; 100>
		o 5 cm	414 <396; 432>	174 <165; 183>	529 <501; 557>	70 <56; 84>
	útek	Základ	385 <371; 399>	233 <225; 241>	677 <660; 694>	
		o 3 cm	369 <353; 385>	198 <190; 206>	625 $\pm$ 26 <599; 651>	
		o 5 cm	450 <432; 468>	175 <167; 183>	641 <619; 663>	
<b>2. tkanina</b> Do 180 nití/10 cm Du 108 nití/10 cm	osnova	Základ	413 <399; 427>	228 <220; 236>	550 <520; 580>	90 <79; 101>
		o 3 cm	470 <449; 491>	231 <221; 241>	529 <498; 560>	111 <100; 122>
		o 5 cm	546 <522; 570>	202 <191; 213>	578 <535; 621>	144 <127; 161>
	útek	Základ	426 <411; 441>	253 <245; 261>	885 <865; 905>	
		o 3 cm	474 <455; 493>	212 <201; 223>	869 <844; 894>	
		o 5 cm	504 <488; 520>	199 <188; 210>	829 <799; 859>	
<b>3. tkanina</b> Do 180 nití/10 cm Du 72 nití/10 cm	osnova	Základ	418 <401; 435>	274 <264; 284>	580 <546; 614>	122 <108; 136>
		o 3 cm	530 <507; 553>	220 <209; 231>	555 <505; 605>	187 <171; 203>
		o 5 cm	599 <575; 623>	242 <226; 258>	577 <496; 658>	202 <188; 216>
	útek	Základ	379 <366; 392>	248 <239; 257>	1301 <1280; 1322>	
		o 3 cm	583 <561; 605>	236 <226; 246>	1280 <1255; 1305>	
		o 5 cm	616 <594; 638>	230 <217; 243>	1341 <1302; 1380>	

Poznámka: Omezením experimentu byla nízká tloušťka řezu, což může způsobovat ohyb vzorků, proto pro lepší stanovení vertikální vzdálenosti vazných bodů  $\Delta$  je brána v úvahu tato vzdálenost u osnovních nití.



Obrázek 1 Závislost šířky na dostavě a protažení



Obrázek 2 Závislost výšky na dostavě a protažení

**Tabulka 2 Přehled naměřených veličin ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $Z_p$ )**

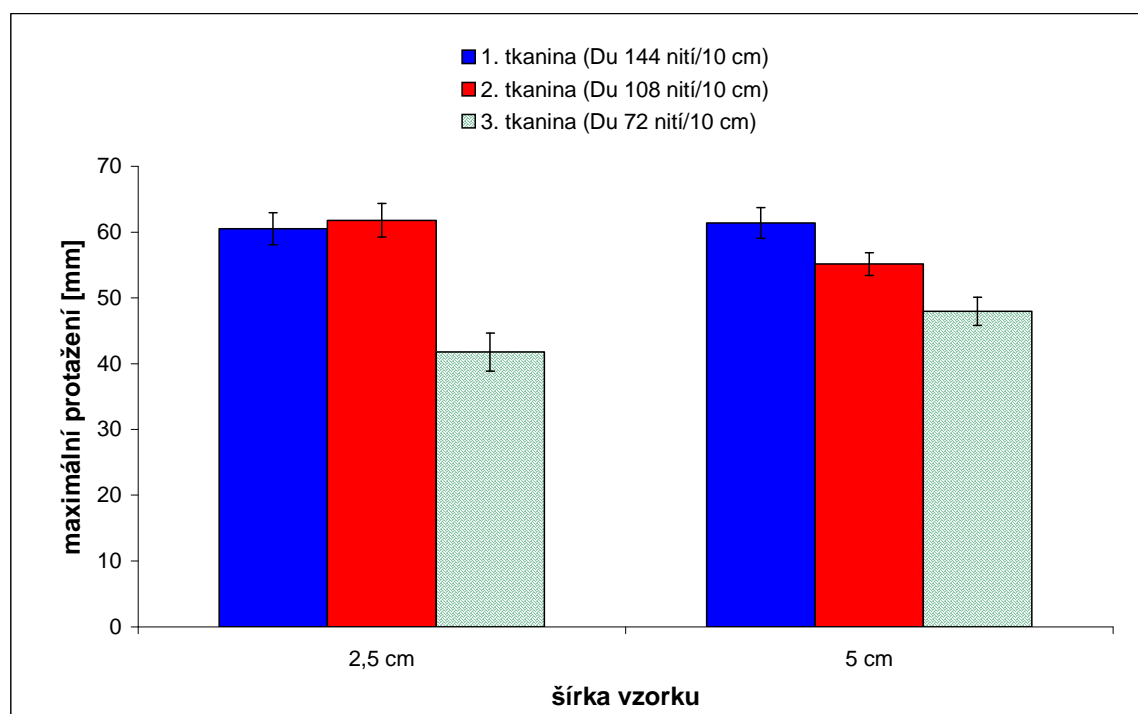
Značení vzorků		Protažení	Relativní šířka $\alpha$ [1]	Relativní výška $\beta$ [1]	Zploštění $Z_p$ [1]
<b>1. tkanina</b> Do 180 nití/10cm Du 144 nití/10cm	osnova	Základ	1,29 <1,24; 1,34>	0,76 <0,73; 0,79>	0,6 <0,58; 0,62>
		o 3 cm	1,35 <1,3; 1,4>	0,61 <0,58; 0,64>	0,46 <0,43; 0,49>
		o 5 cm	1,37 <1,31; 1,43>	0,57 <0,54; 0,6>	0,43 <0,41; 0,45>
	útek	Základ	1,27 <1,22; 1,32>	0,77 <0,74; 0,81>	0,61 <0,58; 0,64>
		o 3 cm	1,22 <1,17; 1,27>	0,65 <0,62; 0,68>	0,54 <0,52; 0,56>
		o 5 cm	1,48 <1,42; 1,54>	0,58 <0,55; 0,61>	0,4 <0,38; 0,42>
<b>2. tkanina</b> Do 180 nití/10 cm Du 108 nití/10 cm	osnova	Základ	1,36 <1,31; 1,41>	0,75 <0,72; 0,78>	0,56 <0,54; 0,58>
		o 3 cm	1,55 <1,48; 1,62>	0,76 <0,73; 0,79>	0,5 <0,47; 0,53>
		o 5 cm	1,8 <1,72; 1,88>	0,67 <0,64; 0,7>	0,38 <0,36; 0,4>
	útek	Základ	1,4 <1,35; 1,45>	0,83 <0,8; 0,86>	0,6 <0,58; 0,62>
		o 3 cm	1,56 <1,5; 1,62>	0,7 <0,66; 0,74>	0,45 <0,43; 0,47>
		o 5 cm	1,66 <1,61; 1,71>	0,66 <0,62; 0,7>	0,4 <0,37; 0,43>
<b>3. tkanina</b> Do 180 nití/10 cm Du 72 nití/10 cm	osnova	Základ	1,38 <1,32; 1,44>	0,9 <0,87; 0,93>	0,67 <0,64; 0,7>
		o 3 cm	1,75 <1,67; 1,83>	0,72 <0,68; 0,76>	0,42 <0,39; 0,45>
		o 5 cm	1,98 <1,9; 2,06>	0,8 <0,75; 0,85>	0,41 <0,37; 0,45>
	útek	Základ	1,25 <1,21; 1,29>	0,82 <0,79; 0,85>	0,66 <0,64; 0,68>
		o 3 cm	1,92 <1,85; 1,99>	0,78 <0,74; 0,82>	0,41 <0,39; 0,43>
		o 5 cm	2,03 <1,96; 2,1>	0,76 <0,71; 0,81>	0,38 <0,35; 0,41>

## **Příloha 2**

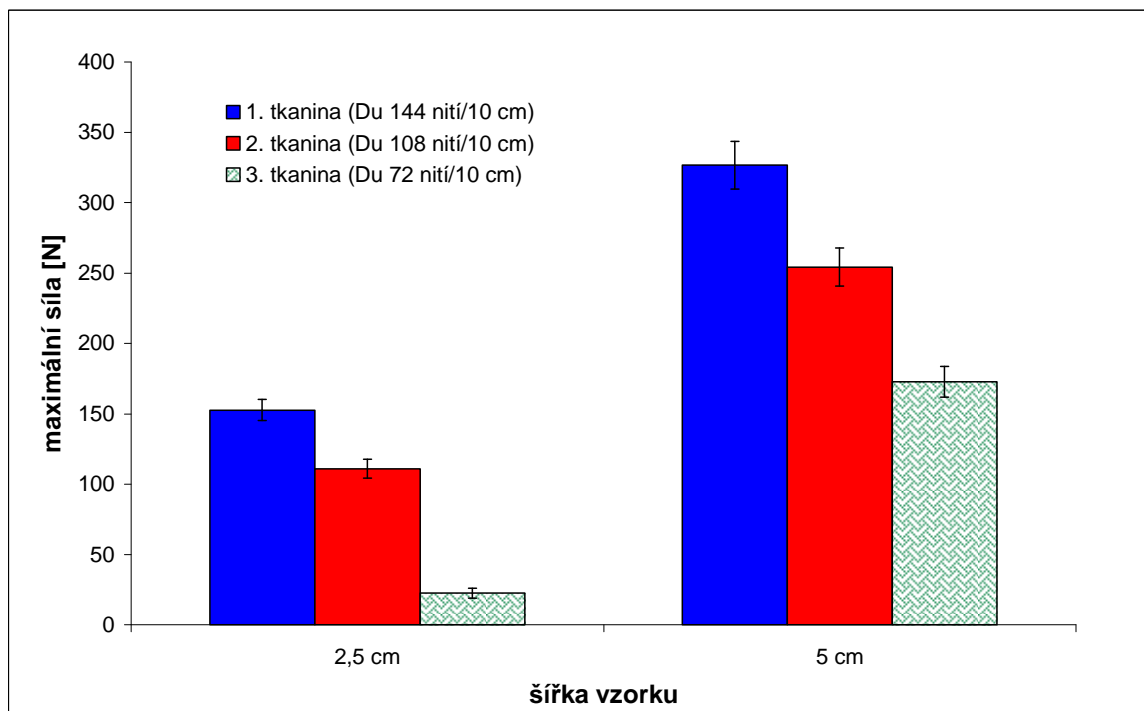
### **Jednoosé namáhání (dynamometr)**

**Tabulka 3** Hodnoty získané z dynamometru

	Šířka vzorku [cm]	Maximální protažení [mm]	Maximální síla [N]	Úhel [°]
<b>1. tkanina</b> (D <sub>u</sub> 144 nití/10 cm)	2,5	60,5 <58,1; 62,9>	152,7 <145,1; 160,3>	62,1 <61,9; 62,3>
	5	61,4 <59,1; 63,7>	326,7 <309,7; 343,7>	69,6 <68,8; 70,4>
<b>2. tkanina</b> (D <sub>u</sub> 108 nití/10 cm)	2,5	61,8 <59,3; 64,3>	110,9 <104,3; 117,5>	58,4 <57,8; 59>
	5	55,1 <53,4; 56,8>	254,3 <240,8; 267,8>	65,2 <64,8; 65,6>
<b>3. tkanina</b> (D <sub>u</sub> 72 nití/10 cm)	2,5	41,8 <38,9; 44,7>	22,5 <18,9; 26,1>	63,3 <63; 63,6>
	5	48 <45,9; 50,1>	172,7 <161,7; 183,7>	66,5 <65,7; 67,3>



**Obrázek 3** Závislost maximálního protažení na šířce vzorku a dostavě

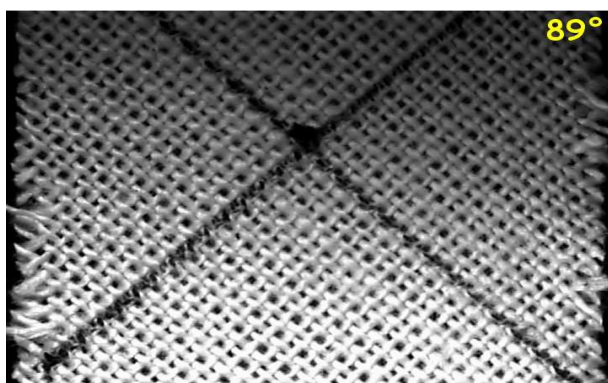


**Obrázek 4** Závislost maximální síly na šířce vzorku a dostavě

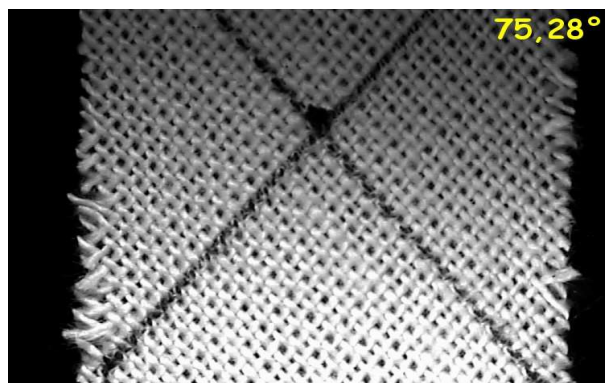
## **Příloha 3**

### **Jednoosé namáhání (speciální přístroj)**

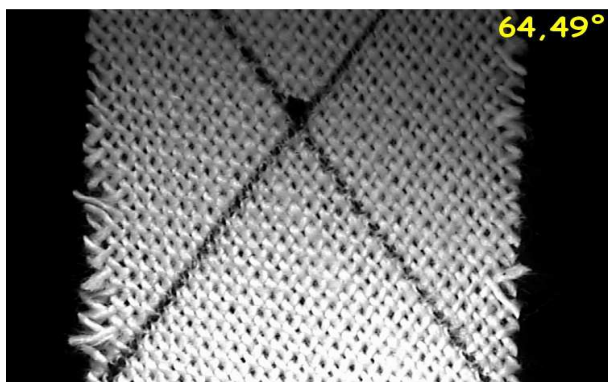
**Změna úhlů při ručním napínání pro 1. tkaninu**  
(D<sub>o</sub> 180 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 144 nití/10cm)



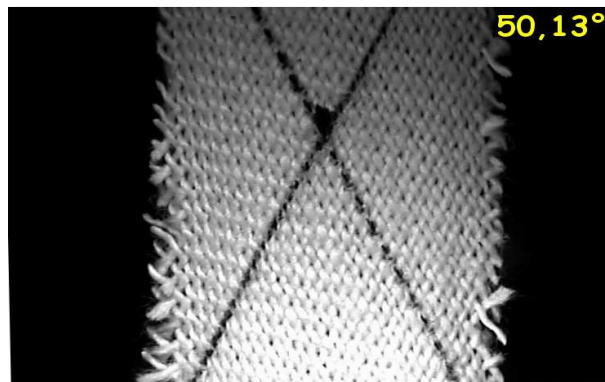
Obrázek 5 Základní poloha (89°)



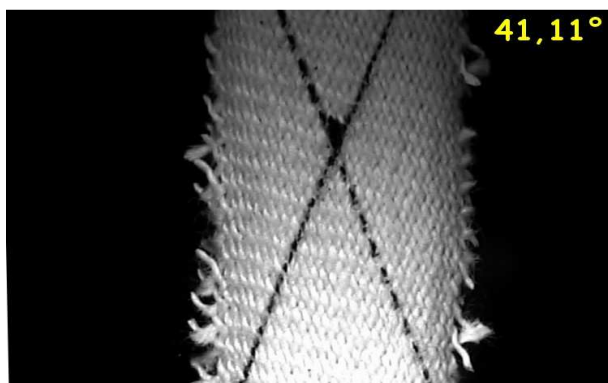
Obrázek 6 Protážení o 1 cm (75,28°)



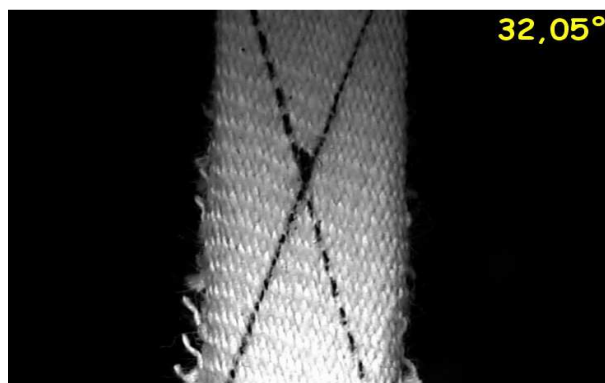
Obrázek 7 Protážení o 2 cm (64,49°)



Obrázek 8 Protážení o 3 cm (50,13°)



Obrázek 9 Protážení o 4 cm (41,11°)



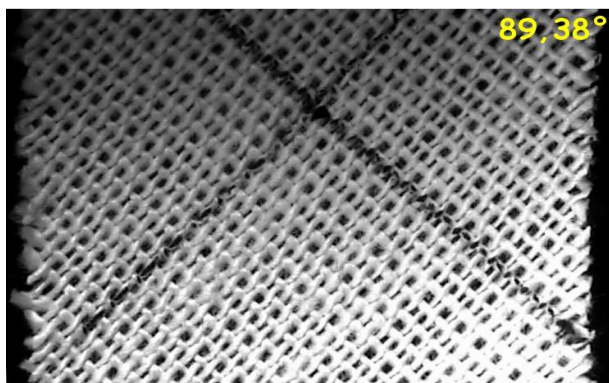
Obrázek 10 Protážení o 5 cm (32,05°)

**Tabulka 4 Změny úhlů při ručním napínání**

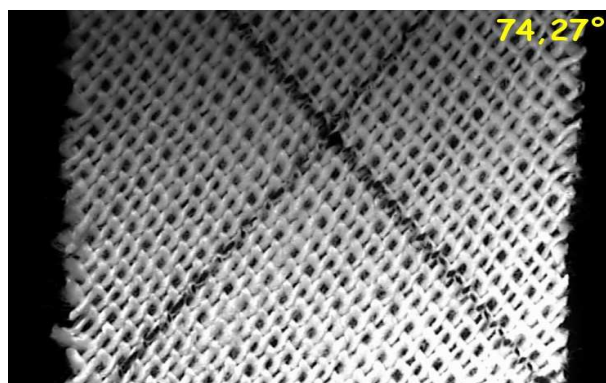
Protážení [cm]	vzorek									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<b>Základní poloha</b>	90,56°	89,1°	89,49°	89,01°	89,63°	89°	90,98°	89°	89,46°	90,35°
<b>o 1</b>	84,5°	75,21°	72,96°	74,97°	77,19°	75,28°	72,78°	73,11°	77,35°	73,68°
<b>o 2</b>	73,44°	64,3°	62,01°	66,16°	69,78°	64,49°	63,77°	63,27°	67,17°	62,11°
<b>o 3</b>	57,31°	49,51°	48,02°	51,28°	53,9°	50,13°	45,76°	50,54°	53,34°	48,66°
<b>o 4</b>	41,09°	37,58°	38,62°	40,71°	43,13°	41,11°	40,44°	39,58°	38,86°	39,35°
<b>o 5</b>	35,05°	-	32,38°	-	34,32°	32,05°	-	32,98°	32,3°	-



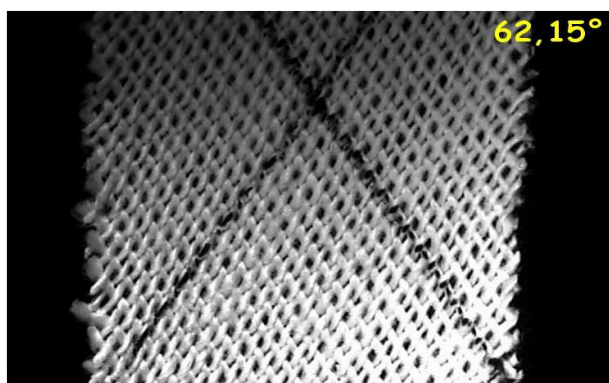
**Změna úhlů při ručním napínání pro 2. tkaninu**  
(D<sub>o</sub> 180 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 108 nití/10cm)



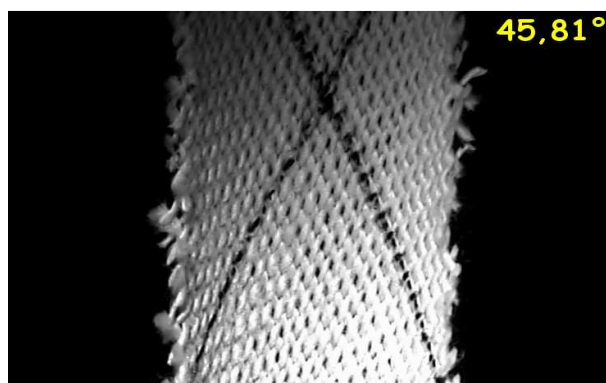
Obrázek 11 Základní poloha (89,38°)



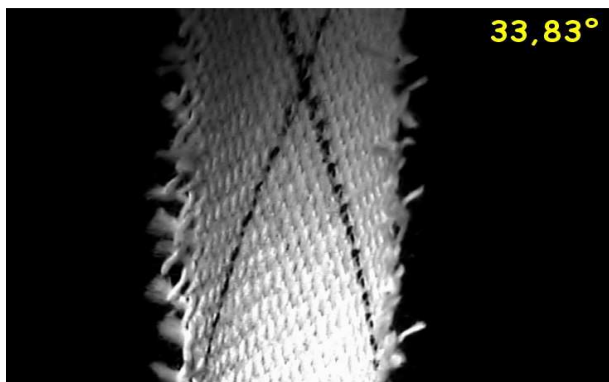
Obrázek 12 Protažení o 1 cm (74,27°)



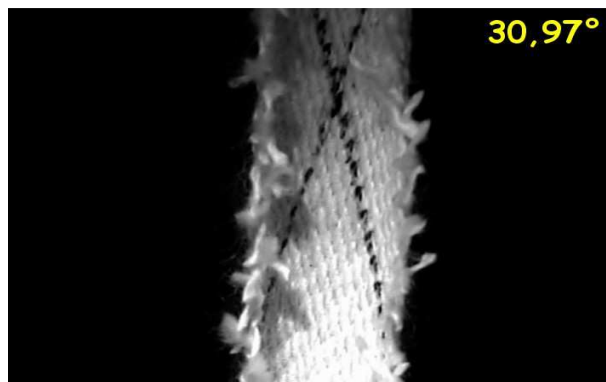
Obrázek 13 Protažení o 2 cm (62,15°)



Obrázek 14 Protažení o 3 cm (45,81°)



Obrázek 15 Protažení o 4 cm (33,83°)



Obrázek 16 Protažení o 5 cm (30,97°)

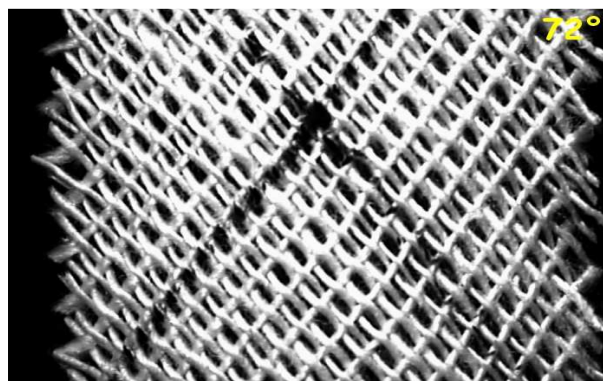
Tabulka 5 Změny úhlů při ručním napínání

Protažení [cm]	vzorek									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<b>Základní poloha</b>	89,38°	89,25°	89,07°	88,17°	89,21°	88,53°	89,3°	88,61°	88,19°	89,15°
<b>o 1</b>	74,27°	76,71°	73,87°	73,89°	75,26°	70,53°	67,03°	74,03°	72,78°	80,99°
<b>o 2</b>	62,15°	67,57°	62,2°	61,28°	66,87°	58,7°	58,38°	62,59°	65,51°	70,2°
<b>o 3</b>	45,81°	50,98°	43,66°	42,87°	51,96°	43,65°	39,03°	47,55°	45,85°	56,09°
<b>o 4</b>	33,83°	34,53°	36,24°	32,4°	36,46°	28,66°	31,18°	33,69°	30,32°	41,29°
<b>o 5</b>	30,97°	28,82°	27,32°	26,99°	31,08°	24,14°	-	27,85°	28,49°	33,61°

**Změna úhlů při ručním napínání pro 3. tkaninu**  
(D<sub>o</sub> 180 nití/10 cm, D<sub>u</sub> 72 nití/10cm)



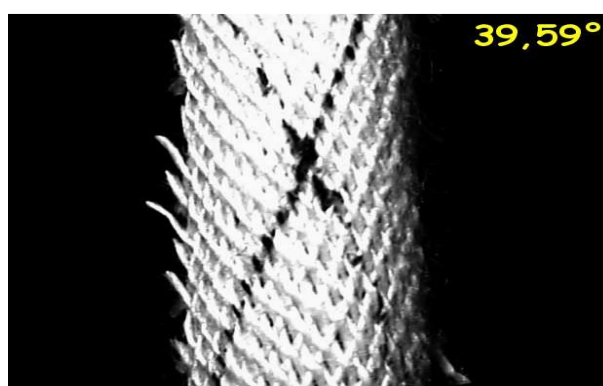
Obrázek 17 Základní poloha (90,12°)



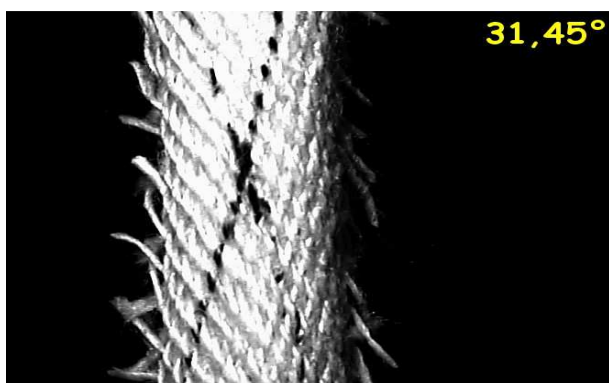
Obrázek 18 Protažení o 1 cm (72°)



Obrázek 19 Protažení o 2 cm (52,5°)



Obrázek 20 Protažení o 3 cm (39,59°)



Obrázek 21 Protažení o 4 cm (31,45°)

Tabulka 6 Změny úhlů při ručním napínání

Protažení [cm]	vzorek									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<b>Základní poloha</b>	89,38°	89,25°	89,07°	88,17°	89,21°	88,53°	89,3°	88,61°	88,19°	89,15°
<b>o 1</b>	74,27°	76,71°	73,87°	73,89°	75,26°	70,53°	67,03°	74,03°	72,78°	80,99°
<b>o 2</b>	62,15°	67,57°	62,2°	61,28°	66,87°	58,7°	58,38°	62,59°	65,51°	70,2°
<b>o 3</b>	45,81°	50,98°	43,66°	42,87°	51,96°	43,65°	39,03°	47,55°	45,85°	56,09°
<b>o 4</b>	33,83°	34,53°	36,24°	32,4°	36,46°	28,66°	31,18°	33,69°	30,32°	41,29°
<b>o 5</b>	30,97°	28,82°	27,32°	26,99°	31,08°	24,14°	-	27,85°	28,49°	33,61°

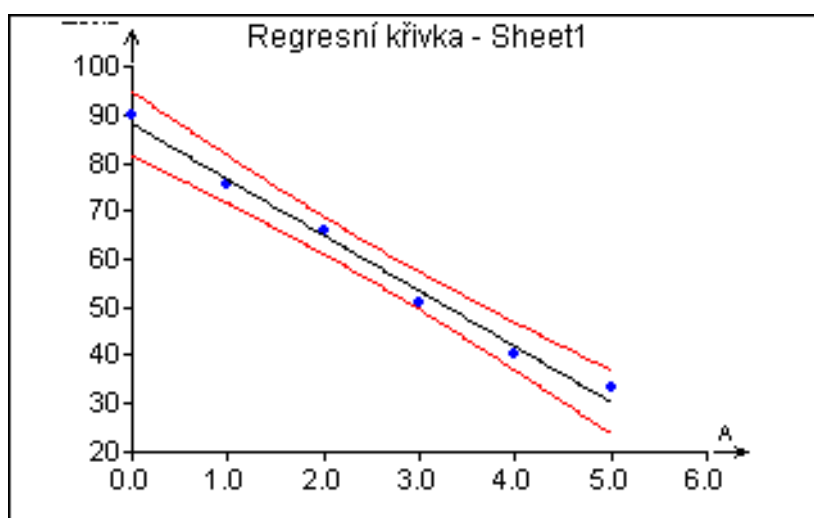
Bylo testováno, zda existuje lineární závislost mezi změnami úhlu jednotlivých tkanin. K testování shody přímek byla použita testovací kritéria závislosti mezi změnami úhlu jednotlivých tkanin zvlášť a mezi tkaninou 1 a 2, 2 a 3, 1 a 3 a 123. Testovací kritérium bylo např.:

$$F_c = \frac{(RSC_{12} - RSC_1 - RSC_2) * (n - 2m)}{(RSC_1 + RSC_2) * m}, \quad (32)$$

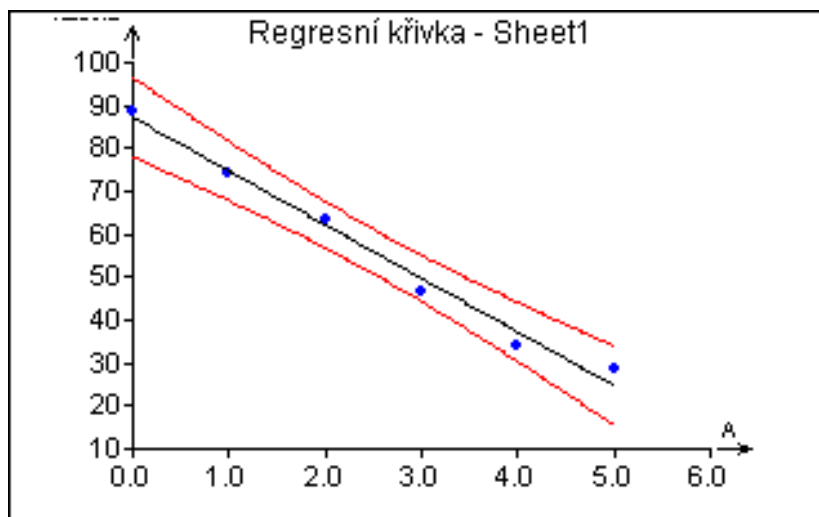
kdy  $m$  je počet souborů,  $n$  počet hodnot. Hodnoty RSC a testovací kritéria jsou uvedeny v tabulce 7.

**Tabulka 7 Odhady parametrů**

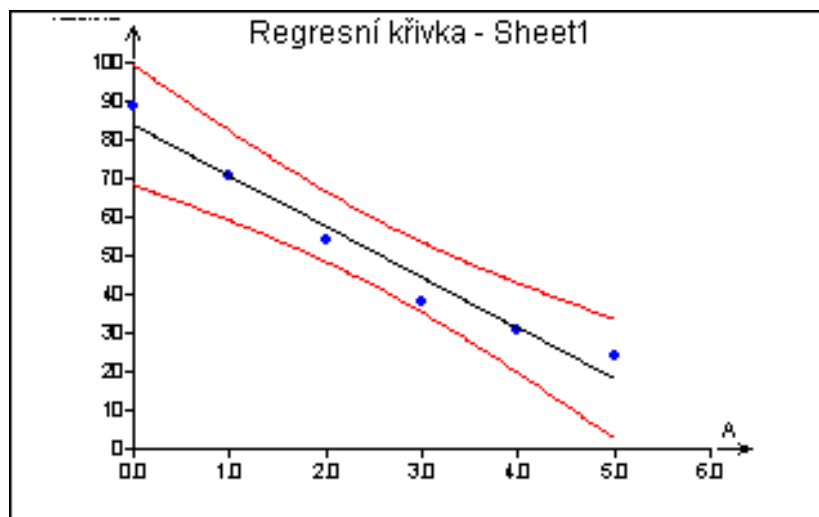
	Proměnná	Odhad	Směr.odch.	Závěr	Pravděpodobnost
1. tkanina	Abs	88,05 <83,36; 92,74>	1,69	Významný	$8,09 * 10^{-7}$
	A	-11,55 <-13,1; -10>	0,56	Významný	$3,21 * 10^{-5}$
2. tkanina	Abs	87,21 <80,7; 93,73>	2,35	Významný	$3,12 * 10^{-6}$
	A	-12,50 <-14,65; -10,35>	0,77	Významný	$8,63 * 10^{-5}$
3. tkanina	Abs	83,82 <72,87; 94,78>	3,95	Významný	$2,90 * 10^{-5}$
	A	-13,14 <-16,76; -9,52>	1,30	Významný	$5,44 * 10^{-4}$



**Obrázek 22 Regresní křivka 1. tkaniny**



Obrázek 23 Regresní křivka 2. tkaniny



Obrázek 24 Regresní křivka 3. tkaniny

Tabulka 8 Statistické charakteristiky regrese

Statistické charakteristiky regrese	1. tkanina (D <sub>u</sub> 144 nití/10 cm)	2. tkanina (D <sub>u</sub> 108 nití/10 cm)	3. tkanina (D <sub>u</sub> 72 nití/10 cm)
R <sup>2</sup>	0,99	0,98	0,98
MEP	11,01	20,98	59,94
RSC	21,76	42,01	118,84

R<sup>2</sup> – koeficient determinace

MEP – střední kvadratická chyba predikce

RSC – Reziduální součet čtverců